

DANIEL SIMIONATO TOZZINI

Avaliação de Danos Causados por Incêndios
Florestais em ***Pinus taeda*** através de Fotografias
Aéreas e Imagens de Satélite.

Dissertação submetida a consideração
da Comissão Examinadora, como requi-
sito parcial na obtenção do Título de
"Mestre em Ciências — M.Sc.", no
Curso de Pós-graduação em Engenharia
Florestal do Setor de Ciências Agrárias
da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1984



COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

PARECER

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato DANIEL SIMIONATO TOZZINI, sob o título "AVALIAÇÃO DE DANOS CAUSADOS POR INCÊNDIOS FLORESTAIS EM *Pinus taeda* ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE SATÉLITE" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 13 de abril de 1984

Professor Rene Antonio Novaes, M.Sc

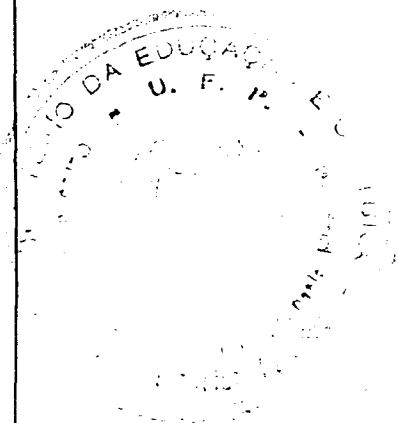
Primeiro Examinador

Professor Ronaldo Viana Soares, DR.

Segundo Examinador

Professor Atílio Antonio Disperati, DR.

Presidente



Aos meus pais
e irmãos

À SUELY minha esposa, e à
CAMILA MARIA e DANIEL, meus filhos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Professor Dr. Attilio Antonio Disperatti, pela orientação, estímulos e amizade.

Aos Professores co-orientadores Otto Luiz Gantzel e Ronaldo Viana Soares, pelos ensinamentos e sugestões.

À Coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPr., pela oportunidade na realização deste curso.

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo suporte financeiro.

À Direção do Instituto de Pesquisas Espaciais pela autorização do uso do sistema I-100 e aos analistas do Sistema pelo auxílio na utilização e orientação do equipamento.

À Empresa Slavieiro Florestal na pessoa do Engenheiro Florestal Fernando Herkenhoff, pela concessão das fotografias aéreas oblíquas e a área de estudo.

Ao Professor Flávio Felipe Kirchner, pelo incentivo.

À Engenheira Cartógrafa Suely B.L. Tozzini pelas sugestões apresentadas e pelo preparo das ilustrações.

Aos demais professores e a todos aqueles que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

DANIEL SIMIONATO TOZZINI, filho de Antonio Tozzini e Deolinda Simionato Tozzini, nasceu em Pinhal, Estado de São Paulo, à 19 de março de 1953.

Concluiu o primeiro grau no Colégio Estadual Santa Isabel na cidade de Santa Isabel do Ivaí e o segundo grau na Escola Técnica Federal do Paraná, em Curitiba, no curso técnico de Eletrônica Industrial.

Em 1976 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em dezembro de 1979.

Em março de 1981 iniciou o curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPr., na área de Manejo Florestal.

Exerceu a função de fotogrametrista na empresa AEROSUL S.A. de 1972 a 1975 e na empresa AERODATA S.A. de 1976 a 1979.

Desenvolveu trabalhos em projetos de pesquisas florestais de 1980 a 1982 na Universidade Federal do Paraná.

S U M Á R I O

	Página
Lista de Ilustrações	viii
Lista de Quadros	x
1 <u>INTRODUÇÃO</u>	01
1.1 Objetivos	02
2 <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	04
2.1 Utilização de fotografias aéreas na avaliação de incêndios florestais	04
2.2 Utilização de imagens de satélite na avaliação de incêndios florestais	07
2.3 Danos causados pelo fogo	11
3 <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	15
3.1 Características gerais da área	15
3.1.1 Localização e descrição	15
3.1.2 Geomorfologia, geologia e solos	17
3.1.3 Clima	19
3.2 Caracterização do povoamento	20
3.2.1 Dados gerais	20
3.2.2 Ocorrência de incêndios	21
3.3 Material	22
3.3.1 Mapas existentes	22

	Página
3.3.2 Fotografias aéreas	25
3.3.3 Imagens de satélite	26
3.4 Metodologia utilizada no estudo do 1º incên- dio	26
3.4.1 Fotografias aéreas oblíquas	26
3.4.1.1 Interpretação	26
3.4.1.2 Níveis de queima	28
3.4.1.3 Transferência para o mapa	29
3.4.2 Fotografias aéreas verticais	29
3.4.3 Imagens de satélite	30
3.4.3.1 Análise preliminar das transparên- cias	30
3.4.3.2 Utilização do Sistema I-100	31
3.4.3.3 Interpretação visual	35
3.4.4 Medição de áreas	35
3.5 Metodologia utilizada no estudo do 2º incên- dio	36
3.5.1 Fotografias aéreas oblíquas	36
3.5.2 Trabalho de campo	38
3.5.2.1 Número de amostras	39
3.5.2.2 Altura das chamas	40
3.5.2.3 Intensidade do fogo	40
3.5.2.4 Altura de crestamento	41
4 <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	44
4.1 Fotografias aéreas oblíquas	44
4.1.1 Interpretação dos níveis de queima	45

	Página
4.1.2 Mapeamento	48
4.2 Fotografias aéreas verticais	53
4.3 Estimativa da intensidade do fogo	56
4.4 Imagens de satélite	62
4.4.1 Interpretação visual	63
4.4.2 Avaliação quantitativa	74
5 <u>CONCLUSÕES</u>	77
6 <u>RESUMO</u>	79
<u>SUMMARY</u>	82
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Página
01	Localização da área da pesquisa	16
02	Fluxograma da metodologia utilizada para o estudo do 1º incêndio florestal	27
03	Fluxograma da metodologia utilizada para o estudo do 2º incêndio florestal	37
04	Forma e dimensões da unidade de amostra	38
05	Altura de queima e altura de crestamento nas árvores	42
06	Cópia da fotografia aérea oblíqua utilizada no mapeamento da área apresentada na Figura 07...	46
07	Área mapeada em escala 1:10.000 utilizando a fotografia apresentada na Figura 06	47
08	Mapa com a área atingida pelo 1º incêndio.....	50
09	Mapa com a área atingida pelo 2º incêndio.....	51
10	Mapa contendo áreas exploradas e remanescentes, após o 1º incêndio	55
11	Fotografia ilustrando os níveis de queima.....	59
12	Área estudada como vista no canal 7	64
13	Mapa resultante da interpretação do diapositivo do canal 7	65
14	Área estudada como vista no canal 5	67

		Página
15	Diapositivo em composição colorido normal.....	68
16	Mapa resultante da interpretação do diapositi- vo em composição colorido normal	69
17	Diapositivo em composição falsa cor	71
18	Mapa resultante da interpretação do diapositi- vo em composição falsa cor	72

LISTA DE QUADROS

		Página
01	Dados meteorológicos relativos ao mês do 1º in- cêndio	23
02	Dados meteorológicos relativos ao mês do 2º in- cêndio	24
03	Composições coloridas de Landsat, fotografadas em escala 1:100.000	33
04	Composições coloridas de Landsat, fotografadas em escala 1:50.000	34
05	Determinação de áreas queimadas, utilizando fo- tografias aéreas oblíquas, 1º incêndio	52
06	Determinação de áreas queimadas, utilizando fo- tografias aéreas oblíquas, 2º incêndio	52
07	Determinação de áreas, utilizando fotografias aéreas verticais, 1º incêndio	56
08	Número de unidades de amostras (n) em cada es- trato	57
09	Parâmetros do fogo relacionados com os níveis de queima	57
10	Determinação de áreas (em hectares), utilizan- do imagens Landsat	74
11	Diferenças obtidas no mapeamento dos níveis de queima, utilizando imagens Landsat	75

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, para avaliação dos recursos de uma área florestal utilizando técnicas de sensoriamento remoto, três produtos básicos têm sido utilizados: fotografias aéreas, imagens de radar e imagens de satélite. A utilização de fotografias aéreas remonta ao início do século; as imagens de radar vem sendo utilizadas a partir da década de sessenta; enquanto que as imagens de satélite, tem sido utilizadas principalmente a partir da obtenção das primeiras imagens Landsat, após 23 de julho de 1972.

LAUER¹⁹ comenta que os florestais estavam entre os primeiros a reconhecer que fotografias obtidas a uma grande distância, forneceriam um rápido e exato meio de se obter informações necessárias ao manejo, planejamento e operações florestais. Todavia, no campo de danos causados por incêndios florestais, muito pouco se tem feito utilizando-se fotografias aéreas e conseqüentemente imagens Landsat.

As perdas de madeira através do fogo têm sido registradas de maneira generalizada em todo o mundo. SOARES²⁹ cita que nos E.U.A., de 1958 a 1967, cerca de 150.000 km² foram queimados; na Austrália são queimados anualmente cerca de 200.000 ha; no Canadá são registrados aproximadamente 7.200 incêndios florestais por ano, onde cerca de 230 incêndios queimam área superior a 150 hectares; na Suécia 4.500 incên-

dios florestais ocorrem por ano; na Alemanha cerca de 3.500 hectares de florestas são destruídas anualmente pelo fogo; no Chile o fogo destrói cerca de 50.000 hectares de florestas por ano. No Brasil, infelizmente não existem estatísticas, apenas dados esparsos sobre ocorrências de incêndios florestais. Em 1963 um dos maiores incêndios de que se tem notícia queimou um total de dois milhões de hectares no Estado do Paraná, sendo 20.000 hectares de plantações, 500.000 hectares de florestas primárias e 1.480.000 hectares de matas secundárias e capoeiras.

SOARES³⁰ comenta ainda que para se desenvolver um trabalho buscando soluções, deve-se primeiro conhecer em profundidade o problema. No caso de incêndios, apenas saber que existe queima não é suficiente, se não se sabe onde, quando e porque queima. Existe a necessidade de que sejam efetuados estudos com níveis de informação suficiente sobre o que seja o incêndio florestal no Brasil.

Este trabalho de pesquisa, sobre aplicação de fotografias aéreas e imagens Landsat 3, visa avaliar os danos causados por incêndios florestais ocorridos em duas épocas diferentes, em reflorestamento de *Pinus taeda*, com idade média de oito anos, na região de Ponta Grossa, Paraná.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a. Mapear a área florestal atingida pelo primeiro e pelo segundo incêndio, em até quatro níveis de queima, atra-

vês da interpretação visual de fotografias aéreas oblíquas obtidas com filme 35 mm.

- b. Avaliar as imagens digitais do Landsat, para mapear a área florestal atingida pelo primeiro incêndio, em até dois níveis de queima.
- c. Desenvolver uma metodologia para avaliar, através dos níveis de intensidade do fogo, os danos causados às árvores pelo segundo incêndio, utilizando-se fotografias aéreas oblíquas 35 mm e trabalho de campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 UTILIZAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS NA AVALIAÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

KLEIN¹⁷, utilizando fotografias aéreas obtidas com filme 35 mm, afirma que a fotografia é um recurso prático, barato, rápido e preciso no campo dos recursos naturais.

COLWELL et al.⁸, comentam que a proteção florestal é um parâmetro de grande importância no aumento da qualidade dos produtos florestais e está ligada a três agentes: fogo, inseto e doenças florestais. Nos E.U.A. cerca de 10% da produção florestal anual é consumida por esses agentes e o fogo é responsável por uma perda de 25 milhões de dólares anualmente, além de influir nas condições ecológicas. A utilização de fotografias aéreas vem contribuir na avaliação quantitativa da área atingida por esses agentes.

BRADSHAW⁴, mapeou uma área de 50.000 ha atingida por fogo, situada a sudoeste da Austrália, utilizando dois tipos de fotografias aéreas. Inicialmente foram tomadas fotografias com câmara 35 mm para decidir sobre o tipo de filme que seria utilizado no levantamento. Com base nos resultados destas fotografias preliminares, decidiu-se utilizar o filme infra-vermelho colorido, devido à ocorrência de neblina na região e em virtude da alta reflectância na faixa do in-

fra-vermelho, obtendo assim melhor contraste entre as condições florestais existentes após o fogo. Foram então obtidas fotografias aéreas em escala 1:30.000 recobrando toda a área, e para determinadas porções da área, fotografias aéreas em escala 1:18.000 para verificação da eficiência da fotointerpretação. As fotografias foram obtidas em diferentes datas, variando de 45 a 90 dias após o fogo. O autor conclui que as fotografias obtidas 45 dias após o incêndio forneceram melhores resultados do que as obtidas em tempo superior a 70 dias após o incêndio e que a escala 1:30.000 forneceu bons resultados para a fotointerpretação.

MYERS²⁵, utilizou duas escalas diferentes de fotografias aéreas para mapear uma área de 1.000 ha atingida por fogo, no Parque Nacional de Kosciusk, na Austrália. As escalas das fotografias foram 1:2.500 e 1:15.000 em filmes coloridos normais. Na fotointerpretação foram identificados quatro níveis de informação: áreas não queimadas, arbustos levemente chamuscados, árvores com copas chamuscadas e árvores desfolhadas. Foram realizados dois métodos de verificação em campo, da fotointerpretação: o primeiro através de 100 pontos marcados aleatoriamente sobre toda a área em estudo e o outro realizado sobre faixas demarcadas no centro da linha de vôo das fotografias em escala 1:2.500, obtendo assim uma verificação específica para cada escala fotográfica utilizada. Em cada etapa do trabalho foi observado o material e o tempo gasto para análise de custos, verificando assim que a utilização de duas escalas diferentes, não elevou o custo significativamente. A precisão obtida foi de 83% utilizando fotografias na escala 1:15.000 e de 97% utilizando fotografias 1:2.500.

BENSON², comenta que em trabalhos realizados em parques nacionais australianos, a utilização de fotografias aéreas obtidas com câmaras 70 mm e 35 mm, tem fornecido bons resultados para analisar áreas atingidas pelo fogo. As florestas após analisadas, recebem um sistema de manejo e proteção, e que um custo moderadamente baixo para o mapeamento é essencial para melhorar o sistema de proteção da floresta. O autor comenta ainda que os métodos comumente empregados para mapeamento de áreas queimadas dependem do nível de detalhamento requerido e da disponibilidade financeira. De maneira geral quatro métodos são citados pelo autor:

- a. Coleta expedita de dados de campo, que consiste em representar diretamente no mapa ou fotografia aérea existente, os detalhes observados através de reconhecimento terrestre.
- b. Serviço de campo detalhado, utilizando linhas de amostragem, para realizar observações em um nível mais detalhado e locar no mapa as áreas queimadas.
- c. "Aerial sketching mapping", mapeamento aéreo expedito para a marcação das áreas queimadas em fotografias ou mapas existentes; é necessário um conhecimento prévio da área a ser sobrevoada para não aumentar o custo do voo.
- d. Fotografias aéreas verticais em escala grande, 1/15.000 por exemplo, obtidas através de um levantamento aerofotogramétrico após o fogo, realizando-se a fotointerpretação e conseqüentemente o mapa apresentando os diferentes níveis de queima.

LACHOWSKI & ANDERSON¹⁸, utilizaram fotografias aéreas verticais, infravermelhos coloridos em escala 1:15.840, para mapear um incêndio florestal ocorrido em Michigan-E.U.A., em 1975. O incêndio abrangeu uma área de 25.900 ha de uma reserva florestal. Aplicando o método de interpretação visual e verificação de campo, o autor identificou seis níveis de informação a saber: áreas não queimadas, queima leve, queima moderada, queima severa, queima leve só de matéria orgânica e queima profunda da matéria orgânica. Para a transferência da fotointerpretação ao mapa-base foram utilizados os pantógrafos óticos "Map-o-graph" e "Zoom Transfer Scope". O autor afirma que fotografias aéreas são de grande utilidade, para o conhecimento da situação de uma reserva florestal após o fogo quanto ao dano causado pelo incêndio, e com base nestes conhecimentos tomar as decisões para a reestruturação da reserva.

2.2 UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE NA AVALIAÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

WINQUIST & JACKSON³², conduziram uma pesquisa utilizando o método visual de interpretação de imagens, em Alberta, no Canadá, para mapear áreas exploradas e áreas queimadas. Foram utilizadas as imagens multiespectrais do Landsat, na forma de transparência preto e branco em escala original de 1:1.000.000. A transparência foi ampliada fotograficamente para a escala do mapa base 1:50.000. Após realizada a medição de áreas exploradas e áreas queimadas, estas foram com-

paradas com o resultado obtido através do uso de fotografias aéreas verticais em escala de 1:50.000 e a diferença média obtida entre o processo por imagens de satélite e por fotografias aéreas foi de 4%.

LEE²⁰, utilizou as bandas MSS 5 e 6 do Landsat 2 e o método de análise de imagem digital para atualizar áreas exploradas e áreas queimadas, em British Columbia, no Canadá. Em áreas onde o fogo foi superficial não foi possível a identificação, porém, naquelas onde a vegetação foi atingida no dossel superior foi possível a diferenciação, concluindo o autor que o método utilizado foi prático e eficiente.

BENSON², mapeou uma área florestal nativa de aproximadamente 12.240 ha atingida pelo fogo, situada em Mount Buffalo, na Austrália utilizando os processos de interpretação visual e digital de imagens. Foram utilizadas as bandas MSS 4, 5, 6 e 7 na identificação da área abrangida pelo fogo. Três níveis de queima foram identificados, ou seja, queima leve, queima moderada e queima severa. Este resultado foi comparado com a fotointerpretação realizada através de fotografias aéreas verticais e apesar de ter fornecido uma menor precisão, o autor conclui que os dados Landsat são de boa aplicabilidade para o mapeamento de áreas atingidas pelo fogo.

LACHOWSKI & ANDERSON¹⁸, utilizando o processo de análise de imagem digital, com os canais 4, 5, 6 e 7 da cena Landsat, identificaram cinco níveis de informação, em uma área atingida pelo fogo: áreas não queimadas, queima leve, queima moderada, queima severa e queima apenas de matéria orgânica. Esta mesma área quando mapeada pelo autor, utilizan-

do fotografias aéreas verticais, permitiu a identificação de seis níveis de informação. Os autores não fornecem detalhes nem dados de comparação entre o método de análise visual e o método de análise digital.

CHEN et al.⁷, mapearam uma área de 123 ha de *Pinus elliottii*, atingida pelo fogo em novembro de 1973, situada na região de Mogi-Guaçu, noroeste do estado de São Paulo, utilizando dados Landsat e empregando o Analisador de imagens multiespectrais - Image - 100. Os autores utilizaram os dados da passagem do satélite referente às datas de 18 de agosto de 1973 e de 13 de setembro de 1975. A estimativa da área queimada foi determinada através da diferença do número de pixels entre a interpretação da área florestal antes da ocorrência do incêndio e a interpretação após a ocorrência do incêndio. A área total estimada através deste processo foi de 107,10 ha, enquanto que a área real do terreno era de 123,0 ha, portanto uma precisão de 83,10%. O autor conclui que obteve um bom resultado, considerando que o tamanho da área queimada era relativamente pequena.

HITCHCOCK & HOFFER¹⁶, utilizando dados MSS e o método digital de interpretação de imagens, classificação não supervisionada, realizaram uma pesquisa objetivando a análise de uma área de aproximadamente 5.770 ha atingida por fogo e a análise da regeneração, um ano após a ocorrência do incêndio. Foram observados dados de duas datas diferentes, ou seja, dois meses após o incêndio analisando sua regeneração. Os autores concluíram que a análise automática de dados MSS pode ser utilizada para mapear áreas queimadas, fornecendo boa precisão quando comparados com mapas realizados através de

métodos convencionais. Na análise da regeneração três estágios de recuperação da floresta, foram identificados: áreas severamente queimadas, áreas em recuperação parcial e áreas com total recuperação, concluindo assim sobre a possibilidade de monitorar a regeneração de áreas queimadas.

HIGA & SOUZA¹⁵, estudaram as imagens multiespectrais do Landsat, referente à órbita-ponto 248-22, rastreada em 11 de agosto de 1977, correspondendo a área entre os rios Cuiabá e Manso, no Estado do Mato Grosso. Utilizaram o método de interpretação visual de imagens, analisando as áreas queimadas e posteriormente a sua quantificação, obtendo como resultado 5.554 km² ou 555.400 hectares de áreas queimadas, correspondendo a 15,97% dos 34.780 km² abrangidos pela imagem. Os autores concluíram que pela real e elevada dimensão de áreas queimadas no Estado do Mato Grosso, justificaria quantificar anualmente, como também pesquisar os danos causados pelo fogo nessas áreas.

AOKI & SANTOS¹, em estudo realizado no Parque Nacional de Brasília-DF, utilizaram imagens MSS em preto e branco dos canais 5 e 7 em escala de 1/250.000 e fitas compatíveis a computador para análise no Sistema Image-100, para mapear áreas queimadas. Os autores concluíram que a utilização do canal 7 forneceu melhores resultados que o canal 5 e que esta metodologia pode ser extremamente útil, rápida, eficaz e econômica na detecção e acompanhamento de queimadas, que ocorrem principalmente na época da seca na vegetação de cerrado.

2.3 DANOS CAUSADOS PELO FOGO

NOSTE & DAVIS²⁷, comentam que a avaliação dos danos causados pelo fogo é um trabalho muito complexo. O assunto abrange uma diversidade de recursos e valores oferecidos pela natureza, envolvendo vegetação, água, recreação, fauna, flora, produtos agrícolas e solo. Inclui também danos à atividade humana, tais como transporte, comunicação, danos a instalações industriais e outros danos econômico-sociais. Porém pode-se individualizar o dano, visualizando apenas o aspecto de interesse como danos às árvores de uma floresta. O potencial de danos por definição é a porção do recurso perdido ou danificado devido à alta intensidade do fogo. A avaliação do potencial de dano requer conhecimento do efeito do fogo sobre o recurso atingido. Em função da intensidade do fogo os danos podem variar de zero a cem por cento, porém, fogo de intensidade baixa pode causar benefícios a uma floresta e o dano total só ocorre quando a intensidade é muito alta.

McARTHUR²⁴, diz que os danos causados na floresta pelo incêndio dependem da espécie atingida e da intensidade do fogo. Os principais danos do fogo, além da morte da árvore, são danos físicos ao tronco, morte parcial da copa, perda do incremento em crescimento da árvore e danos causados por posterior ataque de fungos e insetos. Esse autor conduziu uma pesquisa sobre as perdas da produtividade em floresta de eucaliptos, após a ocorrência de incêndio, concluindo que os danos são proporcionais a intensidade do fogo. Para uma intensidade baixa semelhante a de queima controlada, o fogo

não afeta significativamente a floresta. Quando a intensidade é moderada pode ocorrer ataques de fungos e insetos devido a diminuição da resistência da árvore. Intensidades altas quando não resulta na morte da árvore, causam severos danos no tronco, perda de incremento em crescimento pelo período de até seis anos após o incêndio e consequentemente redução no volume final da madeira em até 50%.

Segundo NELSON²⁶, os principais elementos que influem nos danos causados pelo incêndio florestal são intensidade do fogo, temperatura do ar, tempo de exposição ao calor e o grau de tolerância da espécie ao fogo.

DIETRICH¹⁰ em estudo realizado em plantios de *Pinus ponderosa*, no Arizona, verificou que os fatores que influem na sobrevivência das árvores, devido aos efeitos do fogo são a porcentagem de crestamento da copa, a amplitude dos danos ao câmbio, a estação do ano em que ocorreu o incêndio, a presença de insetos na região e a umidade do ar após a ocorrência do incêndio. Esse autor realizou experimento com fogo na intensidade média de 739 kcal/m/seg e altura média das chamas de 2,89 metros e observou que 24% das árvores morreram logo após o incêndio; 8% morreram em até um ano após; 12% morreram de um a dois anos após; e 4% morreram de dois a três anos após; registrando-se portanto a ocorrência de 48% de mortalidade das árvores. O autor observou que as árvores, onde o crestamento da copa não ultrapassou 90% da sua altura, não morreram.

LOOMIS²¹ conduziu uma pesquisa objetivando avaliar os danos e mortalidade das árvores após a ocorrência de um incêndio em florestas de "Oak-hickory". Com observações e medi-

ções no campo em 2.100 árvores em 28 incêndios, o autor concluiu que a árvore pode morrer pelo calor no seu tronco ou pelo crestamento da copa, sendo a resistência proporcional a dimensão da árvore. A época do ano em que ocorre o incêndio também influi na resistência da árvore.

VAN WAGNER³¹, após experiências realizadas em treze fogos experimentais, estudando a influência da intensidade do fogo e altura de crestamento em copas de coníferas, verificou que intensidades relativamente baixas não causam danos à copa da árvore. Intensidade menor que 100 kcal/m/seg e altura de crestamento de 8,0 metros não afeta ou afeta pouco a copa da árvore; intensidade média acima de 200 kcal/m/seg e altura de crestamento 13 metros causa pequenos danos a copa; intensidade média de 1.000 kcal/m/seg e altura de crestamento de 40 metros causa severos danos a árvore. As idades e alturas totais das árvores não são citadas.

RIETVELD²⁸, em pesquisa realizada em floresta de *Pinus ponderosa*, verificou que quando o crestamento da copa foi menor que 35% da altura da árvore, esta produziu cones variando de grande para médio e que quando o crestamento foi maior que 35%, a produção de cones variou em tamanho de grande para muito pequeno. Os dados de germinação de semente, indicam que sementes férteis são pouco afetadas pelo crestamento da copa viva até aproximadamente 70%, tendendo a germinação a cair rapidamente com crestamento maior que 70%. Entretanto a amostragem não inclui número suficiente de árvores para definir esta tendência. HERMAN* citado por RIETVELD²⁸,

* HERMAN, F.R. A guide for marking fire-damage ponderosa Pine in the Southwest. U.S.For.Serv.Res.Note RM-13, 1954. 4 p.

relata que árvores de *Pinus ponderosa* com 60% ou mais de crestamento letal da copa apresentam baixo potencial de sobrevivência -3% após 6 anos, comparados com 86% em árvores com crestamento inferior à 60%.

Segundo SOARES²⁹, experiências tem demonstrado que em coníferas a principal causa de morte de árvores após um incêndio é o crestamento da copa ao invés de danos ao câmbio próximo do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

3.1.1 Localização e descrição

A área denominada Fazenda Rio do Salto, de propriedade da Empresa Slavieiro Florestal S.A., localiza-se no município de Palmeira, Estado do Paraná. As coordenadas geográficas aproximadas dos pontos extremos da área são: latitude $25^{\circ}22'$ e $25^{\circ}27'$ Sul e longitude $49^{\circ}51'$ e $49^{\circ}56'$ Oeste de Greenwich. A Figura 01 mostra a localização da área no Estado do Paraná.

A fazenda, com extensão de 3.613,06 ha, encontra-se com área de 2.736,40 ha reflorestada com *Pinus taeda* de diferentes idades, plantados de 1970 a 1973.

Analisando a carta denominada Colônia Quero-Quero, em escala 1:50.000, executada pela Diretoria do Serviço Geográfico - DSG e a planta específica da área da fazenda, verifica-se que a altitude da área em questão tem uma variação de 830 a 960 metros apresentando declive suave.

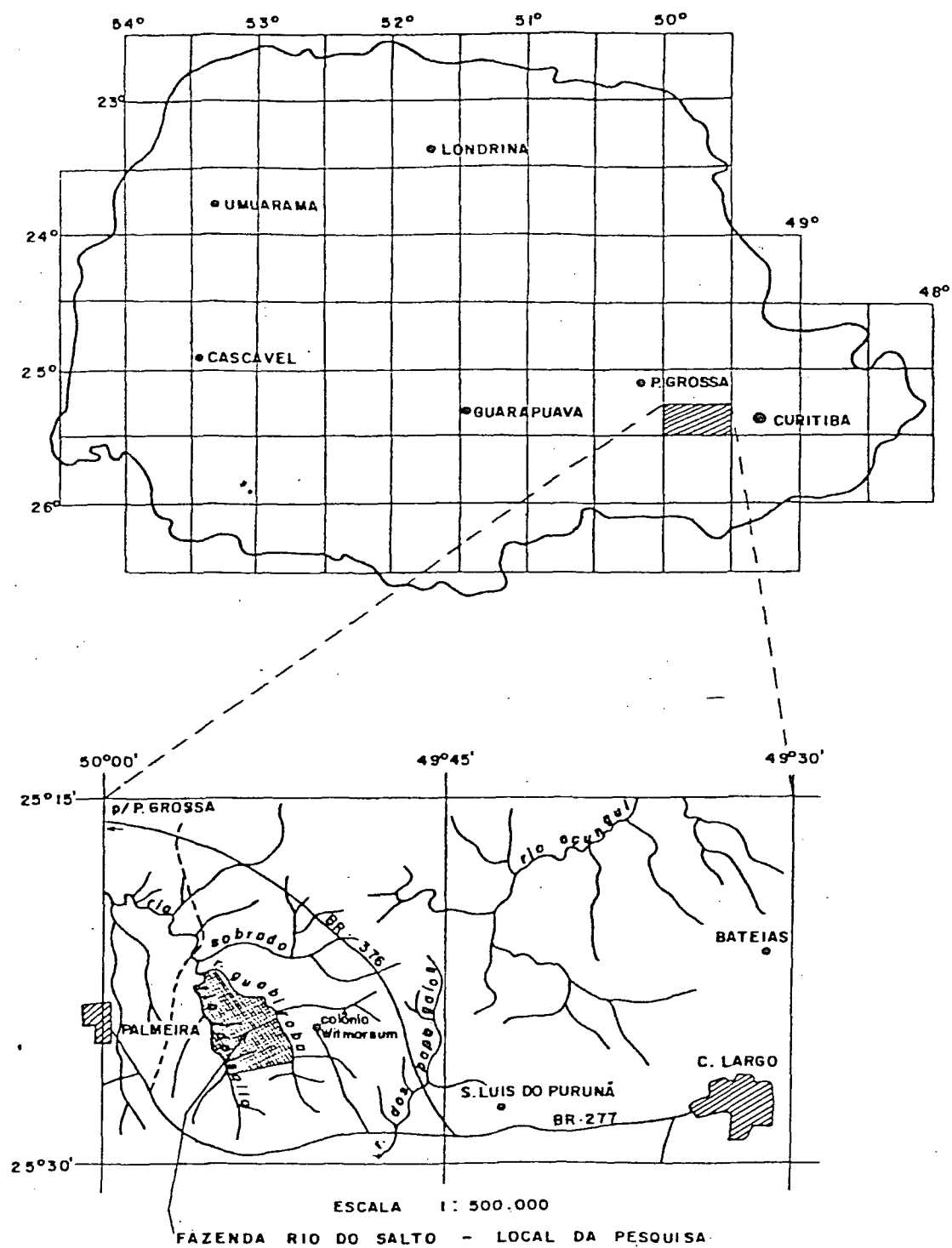


Figura 01. Localização da área de pesquisa.

3.1.2 Geomorfologia, geologia e solos

No Estado do Paraná distinguem-se cinco grandes regiões de paisagens naturais, que são: o litoral, a Serra do Mar, o primeiro planalto ou planalto de Curitiba, o segundo planalto ou planalto de Ponta Grossa, o terceiro planalto ou planalto de Guarapuava, este também denominado de planalto do trapp do Paraná. A área de pesquisa localiza-se a sudoeste do segundo planalto.

O segundo planalto, conforme descrição de MAACK²², está limitado à leste com o primeiro planalto, pela escarpa devoniana, exibindo uma paisagem suavemente ondulada, constituída por sedimentos paleozóicos do devoniano, carbonífero e do permiano. Nas proximidades da escarpa Triássico-Jurássica aparecem, no segundo planalto mesetas isoladas e cadeias de mesetas com restos de sedimentos triássicos, diques, sills e capas de rochas eruptivas básicas do vulcanismo gondwânico, como testemunhas da antiga extensão da capa de rochas mesozóicas e os extensos espigões de diques de diabásio. A configuração da superfície do segundo planalto é muito uniforme. O arenito das furnas acunha ao sul do rio Iguaçu, ocasião em que a escarpa formada pelos sedimentos devonianos desaparece, sendo assinalados aqui apenas por mesetas isoladas e pequenos platôs de sedimentos glaciais do carbonífero superior. O pedestal da cuesta é formado por rochas metamórficas da série Açungui, filitos, calcários e quartzitos ou plutonitos pós-alonquianos, granitos, granitos pórfiros e quartzo-pórfiros. Este pedestal cristalino da escarpa é cortado e aplainado em toda a sua extensão por um

paleoplano, o peneplano pré-devoniano, idêntico, em grande parte no sul do Paraná.

Segundo o DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL⁹, ocorrem nesta região as formações que constituem a porção basal do grupo dos campos gerais, composta de arenitos, quase de puro quartzo, via de regra grosseiros, de textura muito variável, localmente conglomeráticos e com intercalações de clásticos siltico-argilosos. Determinados horizontes apresentam caracteres de arenito arcossiano; o cimento em geral é escasso e caolínico, conferindo ao arenito um caráter friável. Uma de suas características mais marcantes é a estratificação cruzada, presente em todos os seus horizontes, aflora na formação de matas isoladas ou em ilhas, dispondo seus afloramentos em forma de um arco.

Segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA¹², ocorrem na área da fazenda onde se encontra o reflorestamento, três unidades de solos: o latosol vermelho escuro distrófico com horizonte A, proeminente, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifolia e relevo suave ondulado; associação podzólico vermelho amarelo, álico e solos litólicos com horizonte A proeminente, textura arenosa, fase campestre subtropical e relevo suave ondulado.

Os solos latosol vermelho escuro distrófico, são solos profundos, de coloração vermelho escuro, com sequência de horizontes A, B, C e com presença de horizontes transicionais A₃ e B₁. São ácidos de baixa fertilidade natural, muito porosos, friáveis ou muito friáveis e com transição clara entre o A e o B e gradual ou difusa entre os sub horizontes. São solos acentuadamente drenados, argilosos, normal-

mente da classe textural argila ou muito argilosa de estrutura granular pequena e com grau de desenvolvimento variando de fraca a moderada no horizonte A, enquanto que no B a estrutura tanto pode ser em blocos subangulares como microgranular com aspecto de maciça porosa. O grau de consistência é macio ou ligeiramente duro com o solo seco.

A associação podzólico vermelho amarelo álico com horizonte A proeminente textura média fase campestre subtropical e relevo suave ondulado, são solos que possuem o horizonte A com alta saturação de alumínio, com aproximadamente 25 cm de espessura, e de textura areia fraca, a estrutura é granular moderadamente desenvolvida e grãos simples, o grau de consistência é macio como solo seco e muito friável quando úmido, não plástico e não pegajoso quando molhado. A textura do horizonte B é argilo-arenoso, a estrutura é microgranular com aspecto de maciça muito porosa e grãos simples, a consistência com o solo seco é macia, muito friável quando úmido, sendo ligeiramente plástico e pegajoso quando molhado.

Os solos litólicos álicos, são solos rasos, apresentando entre 20 e 40 cm de profundidade, rochas consolidadas ou não, pouco ou nada meteorizadas. Abrange solos com somente horizonte A e a camada rochosa até solos com horizonte B relativamente desenvolvido, porém pouco espesso, afloramentos de rocha são encontrados neste solo.

3.1.3 Clima

Segundo a classificação climática de Koppen, utiliza-

da pela FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ¹³ na confecção da carta climática do Estado do Paraná, a área em estudo se localiza na região do clima tipo Cfb, caracterizado por clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, geadas severas frequentes, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente menor que 22°C e a do mês mais frio menor que 18°C. O mês de fevereiro é o mais quente, com temperatura média de 20°C, e julho o mais frio com temperatura média de 12°C a 13°C. O trimestre dezembro-janeiro-fevereiro é o mais chuvoso, com média de 450 a 500 mm de chuva, e o trimestre de junho-julho-agosto o menos chuvoso, com média de 300 a 350 mm de precipitação, sendo 1400 a 1500 mm a precipitação média anual. A umidade relativa do ar anual média varia entre 80 a 85%.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO POVOAMENTO

3.2.1 Dados gerais

O povoamento na fazenda foi implantado em data variando de 1970 a 1973, com *Pinus taeda*. O espaçamento de plantio foi de 2,50 metros entre linhas e 1,60 metros entre árvores, totalizando 2.500 árvores por hectare. Dos 3.613,06 ha da área da fazenda 2.736,40 ha foram reflorestados, 89,20 ha correspondem a matas nativas localizadas geralmente nas margens dos rios e 787,46 ha correspondem a áreas não reflorestadas, constituídas de aceiros e locais onde o solo é raso e até mesmo rochoso.

Na ocasião da ocorrência do primeiro incêndio (janeiro/79), o povoamento encontrava-se com idade entre 6 e 8 anos, antes portanto do primeiro desbaste.

Quando ocorreu o segundo incêndio, dois anos e meio após o primeiro, o povoamento encontrava-se em fase de realização do desbaste, com alguns talhões já desbastados.

O desbaste foi realizado com intensidade de 40%, retirando-se 10% sistematicamente com a extração de uma em cada dez filas e 30% seletivo, extraíndo-se as árvores de qualidade inferior.

3.2.2 Ocorrência dos incêndios

O primeiro incêndio ocorreu entre os dias 10 e 13 de janeiro de 1979, abrangendo uma área de aproximadamente 600 ha ao norte da fazenda.

O segundo incêndio ocorreu nos dias 9, 10 e 11 de setembro de 1981, atingindo uma área de aproximadamente 900 ha à sudoeste da fazenda.

A causa dos dois incêndios florestais foi de origem desconhecida. As condições climáticas na ocasião dos incêndios favoreciam a ocorrência de queimadas, devido ao longo período de estiagem.

O mês antecedente ao primeiro incêndio, dezembro de 1978, apresentou precipitação de 46,1 mm de chuva, muito baixa para a região, onde a média para este mês em condições normais é de 145 mm. O mês de agosto de 1981, que antecedeu o segundo incêndio, apresentou precipitação de 49,5 mm.

Os dados climatológicos das épocas em que ocorreram os incêndios foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Agrônômico do Paraná-IAPAR, localizada a 20 km da área em estudo, que corresponde a estação meteorológica de Ponta Grossa. Nos Quadros 01 e 02, são apresentados respectivamente os dados meteorológicos relativos aos meses de janeiro de 1979 e setembro de 1981, épocas em que ocorreram o primeiro e o segundo incêndio; os parâmetros geográficos da estação meteorológica são: latitude $25^{\circ}13'$ Sul, longitude $50^{\circ}01'$ Oeste e altitude 880 metros.

3.3 MATERIAL

3.3.1 Mapas existentes na região

Na pesquisa foi utilizado o material cartográfico existente, tanto da região como da área específica da fazenda, constituído por:

- a. Folha denominada "Colônia Quero-Quero", elaborada pela Diretoria do Serviço Geográfico - D.S.G., em escala 1:50.000 a qual se enquadra nas coordenadas geográficas de latitude $25^{\circ}15'$ e $25^{\circ}30'$ Sul e longitude $49^{\circ}45'$ e $50^{\circ}00'$ Oeste de Greenwich.
- b. Especificamente para a área abrangida pela fazenda foi utilizado um mapa plani-altimétrico em escala 1:10.000 em equidistância das curvas de nível de 10 metros. O mapa que data de abril de 1975, foi executado com base em fotografias aéreas verticais tomadas em março de 1975, em escala de 1:15.000 e consiste do traçado da rede hidrográfica, sistema viário, divisão de talhões, áreas reflorestadas e não reflorestadas e florestas nativas.

Quadro 01. Dados meteorológicos relativos ao mês do 1º incêndio.

DIAS	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA (%)	CHUVA 24hs (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	ESTADO GERAL TEMPO	VENTO DIREÇÃO E VELOCIDADE			
	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA					09 00	15 00	21 00	
01	21.1	27.0	18.1	84	10.8	3.5	Encoberto	SW 1	NE 6	NE 6	
02	22.4	27.6	18.5	80	0.0	5.8	Nublado	NE 5	N 5	NE 6	
03	21.0	27.4	18.6	83	26.9	4.7	Nublado	NE 1	NW 3	E 2	
04	19.6	26.4	15.9	78	1.7	5.2	Nublado	SE 4	SE 2	NE 5	
05	18.8	25.0	15.4	78	0.0	5.2	Nublado	NE 4	SW 2	NE 6	
06	18.6	26.2	15.5	74	0.0	7.1	Nublado	NE 6	S 2	NE 6	
07	17.5	22.7	14.9	80	0.0	3.3	Nublado	NE 3	NE 5	E 6	
08	17.2	24.4	12.4	71	2.8	10.6	Nublado	SE 3	SE 6	E 5	
09	17.5	24.8	13.0	68	0.0	5.9	Nublado	E 4	E 5	SE 7	
10	17.8	25.1	11.5	65	0.0	8.3	Nublado	E 5	NE 4	E 4	
11	19.0	26.0	12.8	69	0.0	6.9	Nublado	NE 5	NE 1	E 5	
12	19.0	25.6	14.2	73	0.0	7.0	Nublado	E 7	NE 3	SE 5	
13	19.0	23.6	16.8	73	0.0	3.0	Nublado	E 5	SE 6	E 5	
14	18.5	26.6	14.2	69	0.0	5.7	Nublado	SE 6	SE 5	E 3	
15	18.0	26.2	12.4	67	0.0	7.4	Nublado	E 5	SE 6	E 3	
16	17.8	25.8	10.8	65	0.0	7.6	Nublado	SE 5	SE 3	E 3	
17	18.5	25.9	14.8	70	0.0	4.0	Nublado	E 5	E 3	E 3	
18	18.7	27.4	12.1	63	0.0	10.2	Nublado	SE 5	NE 6	E 4	
19	18.0	26.4	11.5	65	0.0	10.3	Nublado	SE 9	NE 8	E 3	
20	18.7	26.8	12.5	70	0.0	8.7	Nublado	E 7	NE 5	E 4	
21	18.0	25.7	13.2	71	0.0	3.1	Nublado	SE 4	NE 3	E 3	
22	18.6	28.4	11.4	62	0.0	8.6	Nublado	E 4	SE 4	NE 5	
23	20.6	28.2	13.6	58	0.0	11.0	Nublado	E 4	NE 4	NE 6	
24	21.4	30.0	14.8	55	0.0	10.1	Nublado	NE 4	NE 1	SE 3	
25	22.3	29.2	18.7	68	0.0	6.8	Nublado	W 2	NE 5	SE 6	
26	21.2	31.8	16.4	74	0.0	8.7	Nublado	NW 4	SE 2	SE 10	
27	22.5	30.4	15.6	73	13.2	9.2	Claro	NW 2	NW 5	NE 7	
28	20.5	23.2	19.0	94	5.6	0.0	Encoberto	NW 3	N 1	SE 3	
29	17.4	22.5	15.2	86	19.5	2.6	Nublado	SE 4	E 3	NE 9	
30	19.1	27.3	13.0	65	0.0	8.6	Nublado	NE 1	S 4	E 4	
31	18.7	27.6	12.4	64	0.0	11.7	Claro	E 5	SE 3	E 6	
MES	19.2	26.5	14.5	71.4	80.5	210.8		E 4.3	NE 3.9	E 4.9	

FONTE: IAPAR

Quadro 02. Dados meteorológicos relativos ao mês do 2º incêndio.

DIAS	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA (%)	CHUVA 24hs (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	ESTADO GERAL TEMPO	VENTO DIREÇÃO E VELOCIDADE			
	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA					09 00	15 00	21 00	
01	12.6	17.0	9.4	84	0.0	5.8	Nublado	E 6	NE 4	NE 6	
02	15.7	21.6	12.2	84	0.0	6.1	Encoberto	NE 4	NE 2	NE 5	
03	17.0	20.6	14.0	81	0.0	1.3	Encoberto	N 3	NW 3	NW 4	
04	11.6	18.4	9.0	63	11.9	10.4	Nublado	W 6	SW 9	SE 4	
05	11.5	19.1	2.4	62	0.0	8.2	Nublado	SE 2	NE 3	E 2	
06	15.6	23.6	9.4	56	0.0	10.6	Claro	E 3	SE 3	NE 5	
07	15.3	24.4	8.6	59	0.0	10.7	Claro	NE 5	NE 5	NE 5	
08	18.7	27.6	10.4	56	0.0	10.4	Nublado	NE 9	NE 5	NE 8	
09	22.0	29.6	14.5	35	0.0	10.0	Nublado	N 4	NW 6	NW 2	
10	22.6	31.5	14.4	35	0.0	10.3	Nublado	W 1	NW 3	N 2	
11	21.1	30.3	13.6	41	0.0	9.7	Nublado	E 1	N 4	NE 6	
12	23.1	31.6	13.4	31	0.0	10.0	Nublado	NE 3	BW 6	N 2	
13	21.8	30.4	15.2	41	0.0	7.4	Encoberto	W 1	NW 6	NE 6	
14	19.2	29.0	11.2	70	0.0	6.6	Encoberto	NE 1	W 3	NW 4	
15	10.7	19.7	8.3	58	0.0	6.8	Nublado	W 5	W 8	SW 1	
16	11.1	21.8	-0.4	46	0.0	11.2	Claro	SE 3	S 2	NE 4	
17	16.2	26.4	7.2	50	0.0	10.2	Nublado	NE 4	NW 3	NE 9	
18	20.7	30.2	11.7	43	0.0	7.1	Nublado	NW 1	NW 6	NE 2	
19	25.8	32.0	17.8	36	0.0	6.9	Nublado	N 5	NW 9	N 6	
20	21.9	30.6	17.8	63	0.0	4.1	Encoberto	NW 2	NW 7	E 3	
21	16.7	18.9	15.0	92	8.0	0.0	Encoberto	SE 4	N 2	NE 7	
22	14.4	18.8	11.5	79	1.6	1.3	Encoberto	E 7	E 5	SE 5	
23	16.3	20.4	13.2	88	0.0	1.5	Encoberto	SE 3	SE 4	E 3	
24	17.6	22.2	15.2	89	3.0	1.2	Encoberto	NE 6	NE 4	SE 3	
25	16.1	18.1	14.8	91	3.6	0.8	Encoberto	E 2	SE 4	NE 8	
26	19.1	26.5	13.4	78	22.6	9.4	Nublado	W 1	W 3	E 3	
27	22.0	29.5	15.0	70	3.1	9.0	Nublado	NE 2	NW 4	NE 3	
28	23.5	32.1	17.4	49	0.0	10.0	Nublado	SW 1	W 6	NE 1	
29	13.1	23.4	8.6	97	1.2	0.0	Encoberto	N 1	NW 3	S 6	
30	9.8	17.4	6.5	81	16.6	4.8	Nublado	S 6	SW 1	NE 4	
MES	17.4	24.8	11.7	63.6	71.6	201.8		NE 3.4	NW 4.4	NE 4.3	

FONTE: IAPAR

3.3.2 Fotografias aéreas

Dois tipos de fotografias aéreas foram utilizadas, a saber, oblíquas e verticais.

As fotografias aéreas oblíquas utilizadas na pesquisa foram obtidas com câmara fotográfica tipo 35 mm, com aeronave de pequeno porte a uma altura de vôo de aproximadamente 400 metros, utilizando filme colorido normal. Estas fotografias datam de oito dias após a ocorrência dos dois incêndios. O ângulo de inclinação é variável de uma fotografia em relação à outra. A escala média obtida sobre as oblíquas baixas foi de 1:8.000, considerando o eixo central da abscissa, e as dimensões de 12,5 por 18 cm após sua confecção. Foram obtidas 12 fotografias no primeiro incêndio e 14 no segundo.

Complementarmente foram obtidas fotografias com as mesmas características acima descritas que datam de agosto de 198a e cobrem apenas uma parte da área atingida pelo segundo incêndio, que não havia sido coberta pelas fotografias obtidas anteriormente.

As fotografias aéreas verticais foram obtidas no Instituto de Terras e Cartografia - ITC e fazem parte do vôo de cobertura fotográfica do Estado do Paraná. As fotografias, em filme pancromático preto e branco, obtidas com câmara métrica de distância focal 152,42 mm, em escala de 1:25.000, foram tomadas em 27 de julho de 1980, ou seja, 18 meses após a ocorrência do primeiro incêndio florestal, intervalo de tempo este em que foi efetivada a exploração das áreas queimadas onde se encontravam árvores mortas ou não recuperadas.

3.3.3 Imagens de satélite

A área florestal pesquisada foi recoberta por uma cena de imagem com referência órbita-ponto 192-30 no sistema brasileiro e 237-78 no sistema mundial de referência.

As transparências positivas dos canais 5 e 7 e fita compatível à computador (CCT), referem-se à passagem do satélite na data de 7 de fevereiro de 1979, correspondendo a 25 dias após a ocorrência do primeiro incêndio. Este material foi adquirido pela UFPr., na época da realização do projeto Inventário Florestal das Folhosas.

3.4 METODOLOGIA UTILIZADA NA ANÁLISE DO 1º INCÊNDIO

O fluxograma apresentado na Figura 02 demonstra a metodologia utilizada na avaliação de danos causados às árvores pelo primeiro incêndio florestal, ocorrido na área em estudo. As considerações sobre as diferentes fases desta metodologia estão descritas nos itens seguintes.

3.4.1 Fotografias aéreas oblíquas

3.4.1.1 Interpretação

Foi realizada uma análise prévia das fotografias, nas quais foram identificados os locais e os talhões recobertos em cada fotografia correspondente ao mapa base em escala

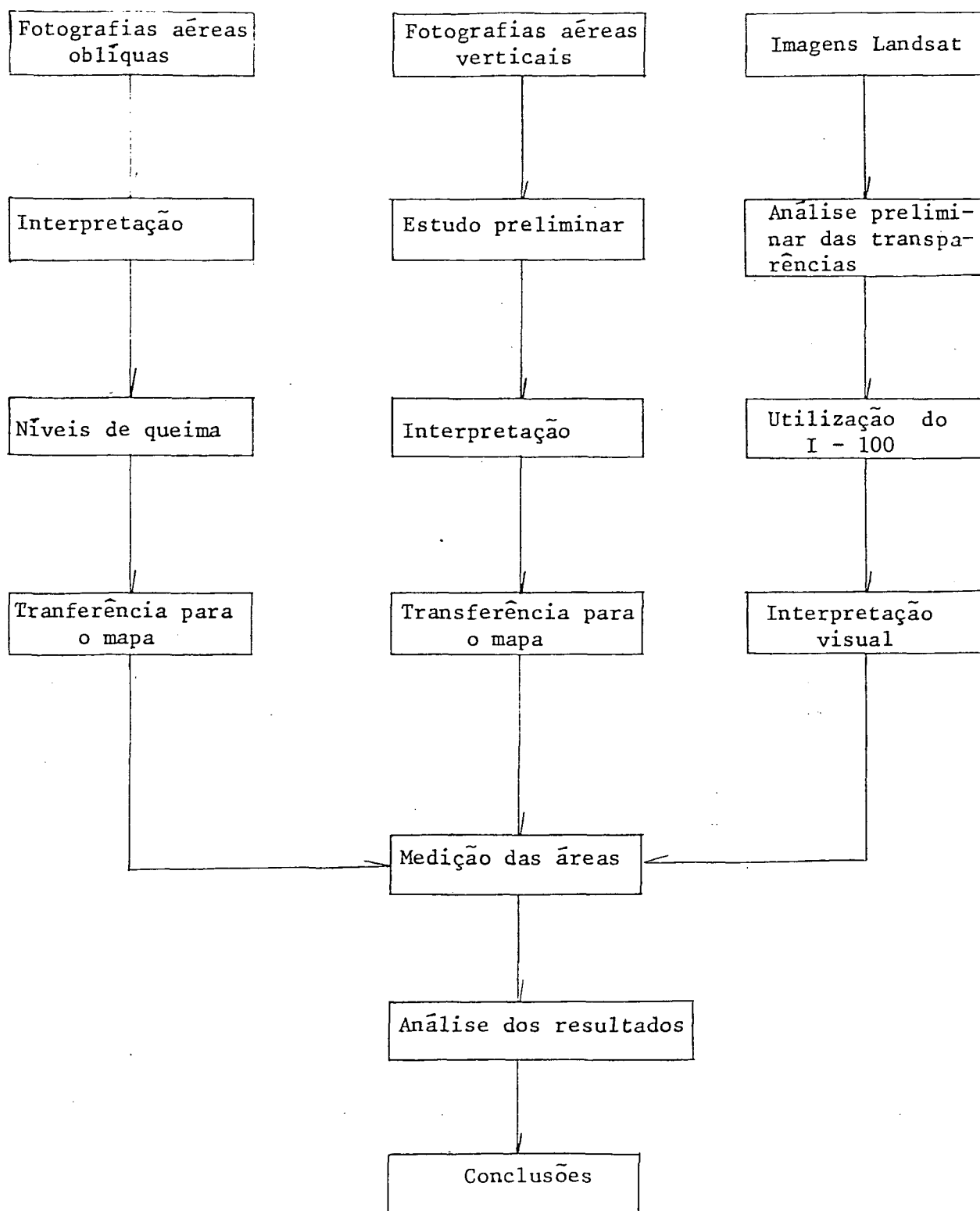


Figura 02. Fluxograma da metodologia utilizada para o estudo do primeiro incêndio florestal.

1:10.000. Esta fase inicial, juntamente com o mapa planialtimétrico da área florestal abrangida pela fazenda, facilitou a interpretação visual das fotografias aéreas oblíquas.

Sequencialmente as fotografias foram interpretadas com o intuito de delimitar a área total da região atingida pelo fogo. Posteriormente, em uma análise mais detalhada, realizou-se a interpretação sobre cada fotografia, visando a delimitação dos níveis de queima.

3.4.1.2 Níveis de queima

Os níveis de queima foram estabelecidos com base nos elementos fotográficos que influem nas características individuais de cada objeto representado na fotografia.

No caso específico de áreas reflorestadas que são constituídas por árvores de mesmas características, o elemento de reconhecimento decisivo foi a variação de matrizes. Os níveis de queima ficaram assim caracterizados:

- I: queima total das acículas (aparece em cor preta na fotografia);
- II: queima parcial das acículas (a coloração aparece em marrom claro amarelado);
- III: queima superficial de alta intensidade com crestamento das acículas (a coloração fotográfica é amarelo claro esverdeado);
- IV: queima superficial sem crestamento das acículas (a coloração aparece em verde com pequenas manchas amarelas e não aparenta danos às árvores).

3.4.1.3 Transferência para o mapa

A transferência da interpretação fotográfica dos níveis de queima para o mapa na escala 1:10.000, foi realizada visualmente, com base nos detalhes planialtimétricos existentes no mesmo.

Foi utilizada a transferência por talhão, isto é, cada talhão foi considerado como uma unidade de trabalho.

3.4.2 Fotografias aéreas verticais

As fotografias aéreas verticais foram utilizadas com a finalidade de avaliar quantitativamente as áreas severamente queimadas, que foram exploradas após o incêndio e as áreas remanescentes onde houve queima com menor intensidade e consequente recuperação das árvores.

O processo de interpretação fotográfica deste material se desenvolveu em três etapas básicas: estudo preliminar, interpretação das fotografias e transferência do resultado da interpretação para o mapa.

Na fase inicial as fotografias foram observadas através de um estereoscópio de espelho. Em cada fotografia, foram definidos e demarcados o ponto principal, o principal conjugado, os pontos asa e a área útil a interpretar.

A interpretação da área de interesse foi realizada com auxílio de estereoscópio de espelho, baseando-se nos elementos fotográficos que influem nas características da formação

da imagem. Foram delimitados o perímetro das áreas remanescentes e das áreas exploradas após a ocorrência do incêndio.

Na transferência das áreas remanescentes e áreas exploradas para o mapa foi utilizado o aparelho restituidor CP₁ da Cartographic Engineering. Para cada modelo estereoscópio, antes de se efetuar a transferência das delimitações, realizou-se a orientação relativa e absoluta do par fotográfico. Os objetos da imagem fotográfica, que são representações em projeção central sujeitas a distorções radiais, distorções das lentes da câmara aérea e variação da escala, após a realização da orientação do par de fotografias no restituidor, passam a ser representados graficamente em projeção ortogonal, sem distorções e com escala única em todo o modelo.

3.4.3 Imagens de satélite

Como indica o fluxograma apresentado na Figura 02 a área atingida pelo primeiro incêndio foi também analisada utilizando-se imagens Landsat 3, obedecendo o sequencial descrito nos próximos itens.

3.4.3.1 Análise preliminar das transparências

As transparências positivas dos canais 5 e 7 foram analisadas em composição colorida resultante em escala 1:1.000.000, através do aparelho "Fairy colour additive viewer", para a definição e identificação da região em estudo.

3.4.3.2 Utilização do Sistema I-100

Nas instalações do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, em São José dos Campos, as informações contidas na fita compatível a computador (CCT) correspondente à região onde se situa a área florestal, foram analisadas com auxílio do analisador de imagens multiespectrais I-100.

O sistema de análise de imagens da GE-I-100 é basicamente constituído pelos seguintes componentes:

- entrada de dados
- processamento
- vídeo e terminal gráfico

A entrada de dados pode ser realizada através de um digitador de imagens ou então através de fita magnética contendo a imagem digitalizada. No caso específico desta pesquisa, foi utilizada a fita compatível a computador (CCT) e o processamento dos dados foi efetuado através de programas específicos disponíveis no INPE.

O vídeo é constituído de um monitor de televisão, onde se pode observar a imagem em processamento. O terminal gráfico fornece informações tais como: histogramas, resultados de análises estatísticas, relatórios em formas gráficas e alfanuméricas.

Várias composições filtro-canal foram apresentadas no vídeo do sistema e aquelas que apresentaram melhores qualidades subjetivas para a interpretação visual da área do incêndio foram fotografadas. Obtiveram-se assim os diapositivos em escalas 1:100.000 e 1:50.000, diretamente da tela do vídeo do sistema, empregando uma câmara ASHAI PENTAX MX com lente 50 mm, com

filme 35 mm Fuji colorido normal em diapositivo, de forma idêntica ao utilizado por GANTZEL¹⁴, 1979.

As composições coloridas selecionadas e fotografadas estão apresentadas nos Quadros 03 e 04. Complementarmente foram obtidos diapositivos individuais do canal 5 e do canal 7, processados sem e com alongamento de contrastes.

Os sensores do Landsat são projetados para registrar uma longa faixa de valores de brilho sem saturação, por exemplo no canal 7, devem registrar desde alvos escuros como a água até alvos claros como neve, sem perda de detalhes. Poucas cenas tem uma faixa de brilhos que utiliza toda a faixa de sensibilidade dos sensores. Para produzir uma imagem com um contraste ótimo é necessário utilizar toda a escala de cinza disponível, desde o extremo escuro, nível 0, até o extremo claro, nível 255. A técnica de alongamento de contrastes consiste basicamente, após analisado o histograma de níveis de cinza da cena, levar o mínimo nível de cinza ao extremo escuro e o máximo nível de cinza ao extremo claro e assim todos os níveis da cena são distribuídos linearmente.

Quando se trabalha com dados digitais da imagem de satélite é usual dimensionar a área em estudo através do elemento de resolução ou pixel. Um pixel corresponde ao valor da radiância de uma área no terreno correspondendo a um paralelogramo de 57 por 79 metros, ou seja 0,45 hectares. Cada cena Landsat abrangendo 185 km por 185 km é composta de 7,5 milhões de elementos de resolução ou pixels, em cada banda espectral.

A área quando analisada em escala 1:100.000, foi delimitada pelas coordenadas: $X_1 = 1.896$, $Y_1 = 97$ e $X_2 = 2.404$,

Quadro 03. Composições coloridas de Landsat, fotografias em escala 1:100.000.

Combinações Filtro/Canal			Composição revelada no vídeo do sistema
Vermelho	Verde	Azul	
7	5	4	Falsa cor
7 st	5 st	4	Falsa cor com alongamento de contrastes
7	5	I ⁴	Falsa cor com azul complementar
I ⁷	5	I ⁴	Falsa cor com azul e vermelho complementares
5	7	4	Colorido normal
5	7	I ⁴	Colorido normal com azul complementar
5	I ⁷	I ⁴	Colorido normal com azul e verde complementares
I ⁵	I ⁷	4	Colorido normal com verde e vermelho complementares

st: alongamento dos contrastes

I: inverso, negativo ou complementar.

Quadro 04. Composições coloridas de Landsat, fotografias em escala 1:50.000.

Combinações Filtro/Canal			Composição revelada no vídeo do sistema
Vermelho	Verde	Azul	
7	5	4	Falsa cor
7st	5st	4	Falsa cor com alongamento de contrastes
7	5	I ⁴	Falsa cor com azul complementar
7	I ⁵	I ⁴	Falsa cor com azul e verde complementares
5st	7st	4	Colorido com alongamento de contrastes
7	6	4	Não específico
5	7	6	Não específico

st: alongamento de contrastes

I: inverso, negativo ou complementar

$Y_2 = 463$, caracterizando um quadrado de 508 pixel leste-oeste por 366 pixel norte-sul e na escala 1:50.000 o quadrado ficou delimitado pelas coordenadas $X_1 = 2.094$, $Y_1 = 254$ e $X_2 = 2.348$, $Y_2 = 436$, correspondendo a 254 pixel leste-oeste por 182 pixel norte-sul.

3.4.3.3 Interpretação visual

Os diapositivos foram analisados através da projeção realizada com um aparelho projetor de slides, instalado a uma distância de 3,5 metros da tela de projeção, sendo que a escala final foi 1:35.000.

Após a análise individual de todos os diapositivos, os mesmos foram comparados entre si e aqueles que apresentaram melhores contrastes sobre o incêndio foram em seguida interpretados.

A interpretação foi realizada sem a utilização do mapa contendo os níveis de queima identificados com uso das fotografias aéreas oblíquas. Os diapositivos coloridos foram interpretados em função das matizes de cores, e os diapositivos do canal 5 e do canal 7, em função das tonalidades de cinza. Dois níveis de queima foram identificados, sendo:

- A. áreas queimadas com alta intensidade;
- B. áreas queimadas com intensidade menor.

3.4.4 Medição de área

A área total atingida pelo incêndio e as diferentes

divisões nela contida foram determinadas utilizando-se o integrador de área foliar Automatic-Meter-AAC-400. Este instrumento de leitura digital, se baseia no princípio fotoelétrico, com precisão de um milímetro quadrado e rendimento superior ao planímetro polar tradicional.

Para cada medida foram realizadas três leituras e adicionado um fator de correção de 1,8%, em consequência do erro sistemático cometido. Este erro sistemático foi determinado através de medições efetuadas em área-testemunha com dimensões conhecidas.

3.5 METODOLOGIA UTILIZADA NA ANÁLISE DO SEGUNDO INCÊNDIO

O fluxograma apresentado na Figura 03 mostra as fases da metodologia utilizada para avaliar os danos causados às árvores pelo segundo incêndio, as quais vem descritas nos itens seguintes.

3.5.1 Fotografias aéreas oblíquas

Observando-se o fluxograma referente à metodologia utilizada no estudo do segundo incêndio nota-se que foi empregada a mesma metodologia quanto ao uso de fotografias aéreas oblíquas na análise do primeiro incêndio. Portanto os itens referentes à interpretação das fotografias aéreas oblíquas, níveis de queima, transferência para o mapa e medição

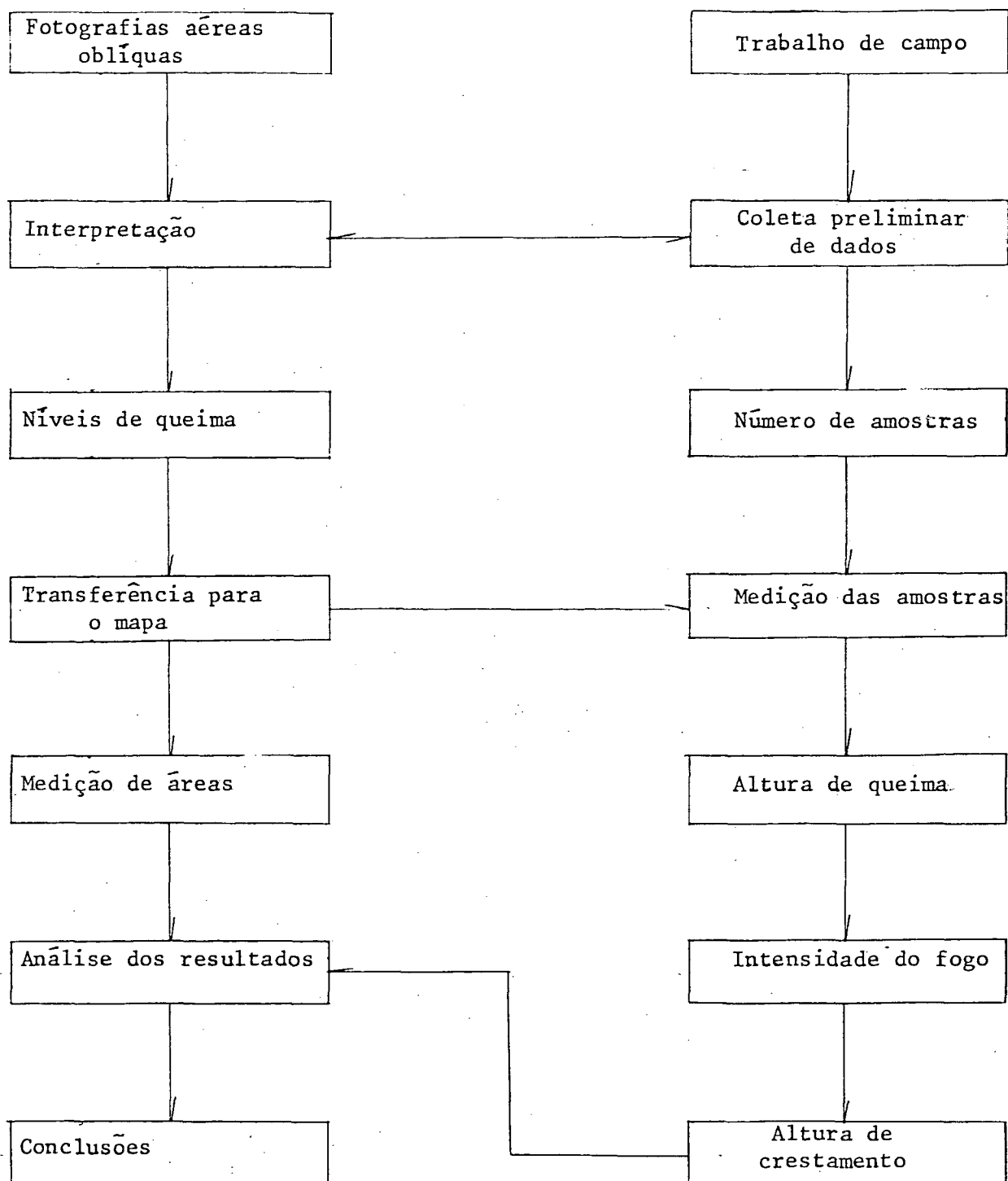


Figura 03. Fluxograma da metodologia utilizada para o estudo do segundo incêndio florestal.

das áreas delimitadas, correspondem respectivamente aos itens 3.4.1.1, 3.4.1.2, 3.4.1.3 e 3.4.4 já descritos anteriormente.

3.5.2 Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado com o propósito de caracterizar os níveis de queima com relação a alguns parâmetros do fogo, a partir da altura média das chamas estimada através de amostragem e medição em campo.

Cada nível de queima estabelecido na interpretação das fotografias aéreas oblíquas relativas ao segundo incêndio foi considerado como um estrato; neste caso o processo de amostragem utilizado foi o estratificado, com medições em linhas, sendo as unidades de amostra distribuídas aleatoriamente dentro de cada estrato.

As dimensões de cada unidade amostral foram as seguintes: como largura o espaço ocupado por duas filas de árvores (5 m) e como comprimento o espaço ocupado por dez árvores (16 m), resultando assim em uma área retangular de 80 m^2 como mostra a Figura 04. A dimensão da unidade amostral foi baseada em observações preliminares no local do incêndio.

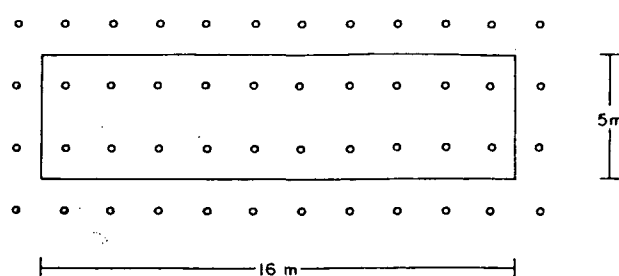


Figura 04. Forma e dimensões da unidade de amostra.

As medições foram realizadas em março e abril de 1982, ou seja, 6 meses após a ocorrência do incêndio.

3.5.2.1 Número de amostras

Inicialmente foi realizada uma amostragem preliminar, para se obter uma estimativa de variância da altura de queima em cada estrato. Foram efetuadas medidas da altura das chamuscas em seis unidades de amostra por nível de queima interpretado.

O número de amostras necessário foi calculado em função dos objetivos e da precisão do trabalho.

Baseando-se na precisão utilizada pela maioria dos trabalhos relacionados à área da Ciência Florestal, foi considerado um limite de erro de 10% a um nível de 0,95 de probabilidade. Para o cálculo definitivo do número de amostras por nível de queima, foi utilizada a seguinte fórmula de amostragem aleatória:

$$n = \frac{t^2 \cdot x \cdot s^2}{E^2}$$

onde:

- n = número de unidades de amostras por nível de queima;
- s² = estimativa da variância dos dados preliminares;
- t = valor de t a 0,95 de probabilidade e (n-1) graus de liberdade;
- E = erro (LE.X);

LE = limite de erro considerado;

\bar{X} = estimativa da média dos dados preliminares.

3.5.2.2 Altura das chamas

Com o emprego de vara graduada e hipsomêtro foram efetuadas as medições das alturas das chamas, medida esta que foi realizada em cada árvore da unidade de amostras.

A altura da chama ficou caracterizada nas árvores pela marca de carvão, que variou desde poucos centímetros até a altura total da árvore, dependendo do nível de queima ao qual pertenceu a unidade de amostra.

A utilização do hipsômetro de Blume-Leiss para a medição da altura de queima, se fez quando não foi possível o emprego da vara graduada ou quando se mediu a altura total da árvore.

A altura média das chamas foi estimada para cada nível de queima interpretado. Inicialmente foi obtida uma altura média para cada unidade de amostra e em seguida foi estimada a altura média de queima em função das médias por unidade de amostra e o número de unidades de amostra, ou seja, foi determinada a média aritmética entre as unidades de amostras do nível de queima considerado.

3.5.2.3 Intensidade do fogo

A intensidade do fogo foi estimada em função da altu-

ra média das chamas de cada nível de queima, que segundo BROWN & DAVIS⁵ tem a seguinte relação:

$$h = 0,45 I^{0,46}$$

onde:

h = altura das chamas em pés (1 pé = 0,3048 m)

I = intensidade do fogo em Btu/pés/seg

(1 Btu = 0,252016 kcal)

Transformando a fórmula original para o Sistema Internacional, fica:

$$I = \sqrt[0,46]{\frac{h}{0,13716}} \times 0,82682457$$

onde:

h = altura das chamas em metros

I = intensidade do fogo em kcal/m/seg.

Esta fórmula foi aplicada para cada nível de queima interpretado.

3.5.2.4 Altura de crestamento

Acima da zona de combustão, em um incêndio florestal superficial ou de solo, há uma zona dentro da qual a folhagem é crestada e morta pelos gases quentes que se desprendem das chamas. O crestamento da copa é um parâmetro importante na avaliação de mortalidade de árvores.

Na Figura 05 pode-se distinguir visualmente a altura de queima e altura de crestamento. A altura de queima caracte-

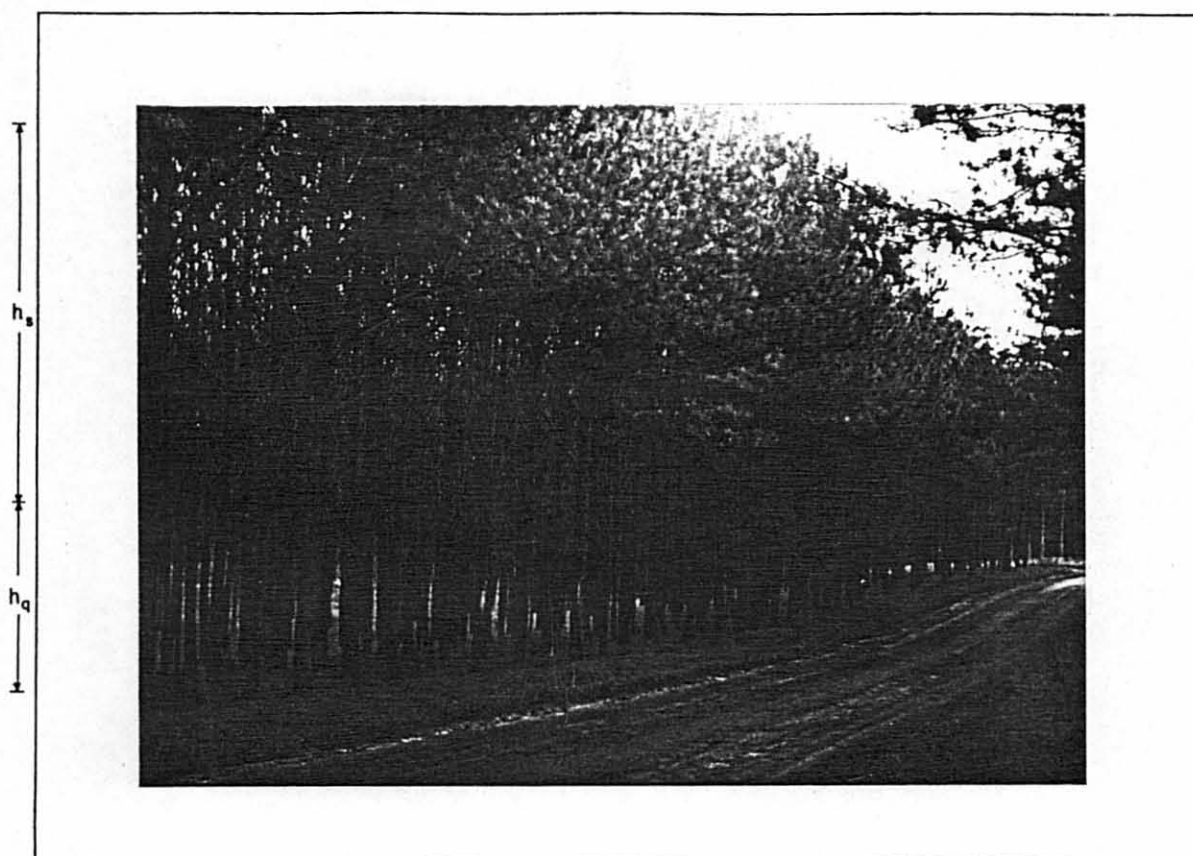


Figura 05. Altura de queima e altura de crestamento nas árvores.

rizada pela coloração preta na parte inferior das árvores, logo acima aparecendo o crestamento de copa em coloração marrom, neste caso não atingindo o total da árvore.

VAN WAGNER³¹ verificou que a altura de crestamento em copas de coníferas, poderia ser correlacionada com a intensidade do fogo e conclui que a altura de crestamento varia com a potência de 2/3 da intensidade do fogo ($h_s = I^{2/3}$). Adicionando os efeitos de temperatura e vento, VAN WAGNER³¹ obteve a seguinte equação:

$$h_s = \frac{3,94 I^{7/6}}{(0,107 I + u^3)^{1/2} (60 - T)}$$

sendo:

- h_s = altura de crestamento letal em metros
- I = intensidade do fogo em kcal/m/seg
- u = velocidade do vento em m/seg
- T = temperatura do ar em graus centígrados.

Os parâmetros velocidade do vento e temperatura foram obtidos da estação meteorológica do Parque Nacional de Vila Velha, que situa-se a 20 km de distância da área onde ocorreu o incêndio.

Tanto para a velocidade do vento como para a temperatura foram considerados os valores médios dos dias 9, 10 e 11 de setembro de 1981, contidos no Quadro 02, que foram os dias em que ocorreu o segundo incêndio. Os valores médios são:

- velocidade média do vento (u) = 3,22 m/seg
- temperatura média (T) = 21,9°C

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos ao estudo realizado sobre a área florestal atingida pelos dois incêndios, são apresentados considerando o tipo de material utilizado: fotografias aéreas oblíquas utilizadas no primeiro e no segundo incêndio, fotografias aéreas verticais utilizadas no primeiro incêndio, intensidade do fogo estimada no segundo incêndio e imagens do Landsat 3 utilizadas no primeiro incêndio.

O ideal seria ter disponível todo o material citado para um só incêndio, porém essa disponibilidade não foi possível nesta pesquisa.

4.1 FOTOGRAFIAS AÉREAS OBLÍQUAS

Os comentários apresentados neste item são genéricos sobre a utilização de fotografias aéreas oblíquas no primeiro e no segundo incêndio, diferindo apenas os resultados quantitativos, que são apresentados para cada incêndio.

A utilização de fotografias aéreas oblíquas 35 mm, teve como finalidade principal o mapeamento da área queimada em diferentes níveis de queima.

4.1.1 Interpretação dos níveis de queima

Basicamente, através da coloração apresentada na fotografia, pode-se diferenciar áreas não queimadas de áreas queimadas e classificá-las nos seguintes níveis de queima:

- I: coloração preta, devido à queima total das acículas, o que caracterizou um incêndio de intensidade de muito alta.
- II: coloração amarelo escuro com algumas manchas pretas, devido à queima parcial das acículas, caracterizando incêndio de intensidade alta.
- III: coloração amarelo claro esverdeado, locais onde houve queima superficial de alta intensidade com crestamento das acículas.
- IV: coloração verde, com apenas manchas amarelo claro; aparentemente as árvores não foram danificadas, caracterizando queima superficial sem crestamento das acículas.

A Figura 06 ilustra os níveis de queima identificados enquanto que a Figura 07 representa a área mapeada em escala 1:10.000 com os níveis de queima identificados.

As fotografias foram tomadas sem realização de planejamento prévio, conseqüentemente certos locais foram recobertos por várias fotografias. Este fato contribuiu positivamente na pesquisa, possibilitando a análise de uma mesma área com fotografias em ângulos diferentes.

As distorções apresentadas nas fotografias devido à inclinação da câmara no momento da tomada das mesmas, de maneira geral não prejudicaram a qualidade da interpretação.

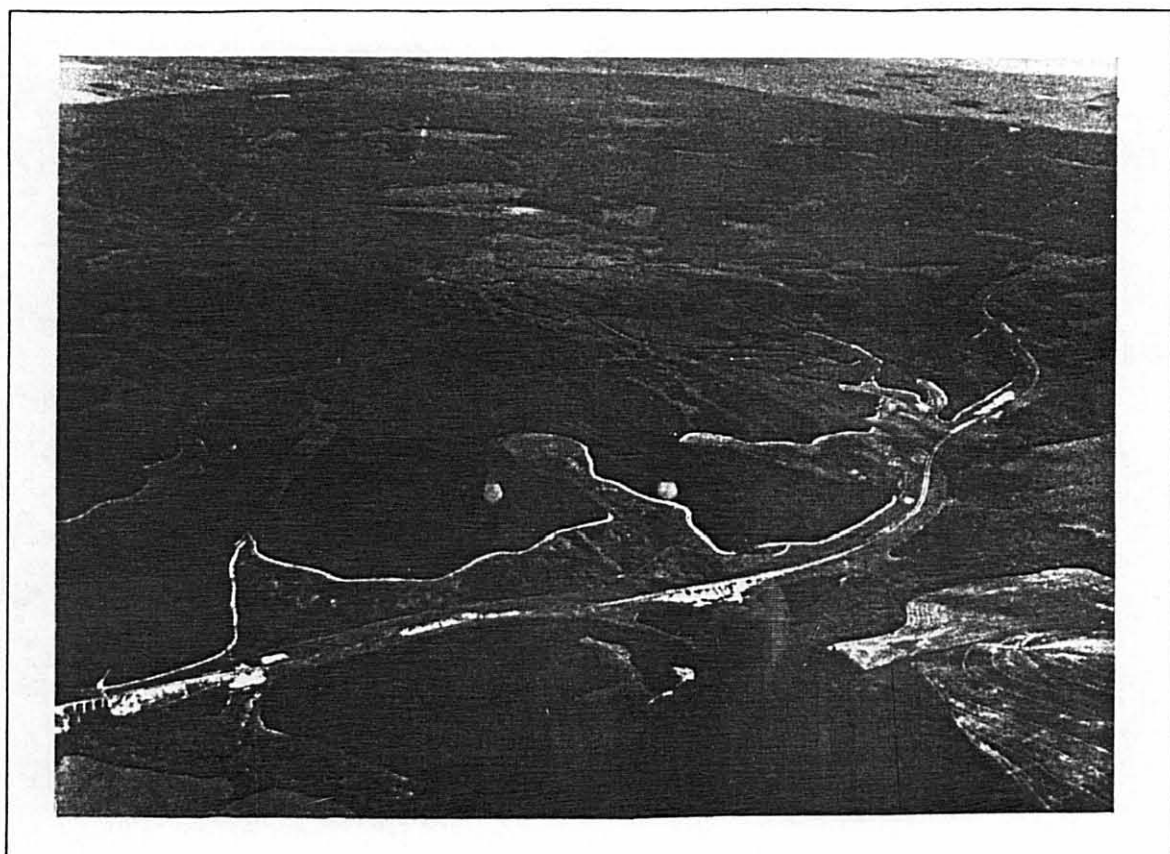


Figura 06. Cópia da fotografia aérea oblíqua utilizada no mapeamento da área apresentada na Figura 07.

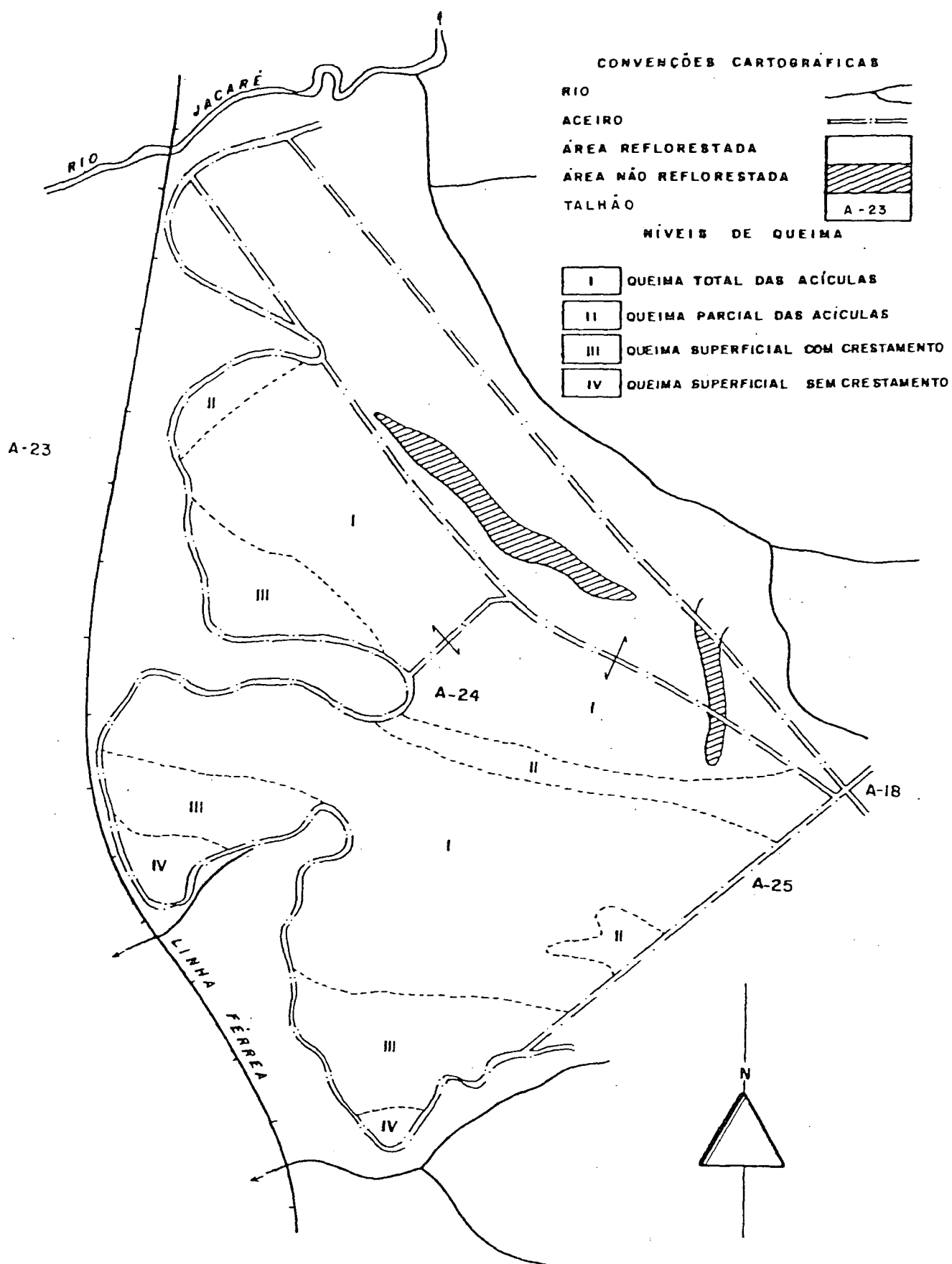


Figura 07. Área mapeada em escala 1:10.000 utilizando a fotografia apresentada na Figura 06.

As estradas, aceiros e acidentes naturais do terreno facilitaram a interpretação. Quando a inclinação da fotografia foi exagerada, a área útil da fotografia ficou reduzida, devido ao espaço ocupado acima da linha do horizonte e próximo desta linha, apresentar-se de difícil interpretação, pela falta de nitidez nos detalhes. Em caso do terreno muito acidentado, o que não aconteceu nesta pesquisa, também como consequência da inclinação exagerada da fotografia, áreas localizadas em fundos de vale e parte posterior de morros, podem ficar ocultas ou apresentar sombras.

As fotografias aéreas oblíquas podem se classificar em baixas e altas. Estas fotografias diferenciam-se quanto ao ângulo de inclinação e conseqüentemente ao aparecimento ou não da linha do horizonte. Nas baixas oblíquas a inclinação é pequena não aparecendo o horizonte, já as altas oblíquas caracterizam-se pela presença da linha do horizonte.

A manipulação e utilização das fotografias aéreas oblíquas nesta pesquisa evidenciaram as vantagens das baixas oblíquas em relação as altas oblíquas para o mapeamento de áreas queimadas.

4.1.2 Mapeamento

Após a transferência da interpretação das fotografias para o mapa base da fazenda, obtiveram-se os níveis de queima mapeados em escala 1:10.000.

A Figura 08 representa, em escala reduzida, o mapa com a área total atingida pelo primeiro incêndio e a Figura 09, também em escala reduzida, representa o mapa com a área total atingida pelo segundo incêndio, ambos mapeados originalmente em escala 1:10.000. A avaliação quantitativa dos mapas, foi realizada através da determinação de áreas dos níveis de queima mapeados e das áreas não reflorestadas, também queimadas, ou seja, áreas de mata e de preservação às margens dos rios. A soma dessas áreas representa a área total atingida pelo incêndio.

No Quadro 05 são apresentadas as áreas queimadas relativas ao primeiro incêndio e no Quadro 06, as relativas ao segundo incêndio.

Na operação de transferência para o mapa base, o ideal seria realizá-la através de aparelho restituidor ou orto-projetor ótico, utilizando-se pares estereoscópicos de fotografias aéreas métricas. Porém, para se realizar cobertura aerofotogramétrica com câmaras especiais e aeronave equipada para tal finalidade, o custo do trabalho seria bastante elevado. Portanto, para finalidades práticas pode-se utilizar fotografias aéreas oblíquas obtidas com câmaras não métricas e aeronave de pequeno porte sem equipamentos adicionais.

Os erros de deslocamentos oriundos da transferência da fotointerpretação para o mapa base, podem ser minimizados pela presença de estradas, aceiros ou acidentes naturais para facilitar a orientação e também pelo cuidado do fotointérprete. Estes fatores ocorreram na pesquisa, aliados ao

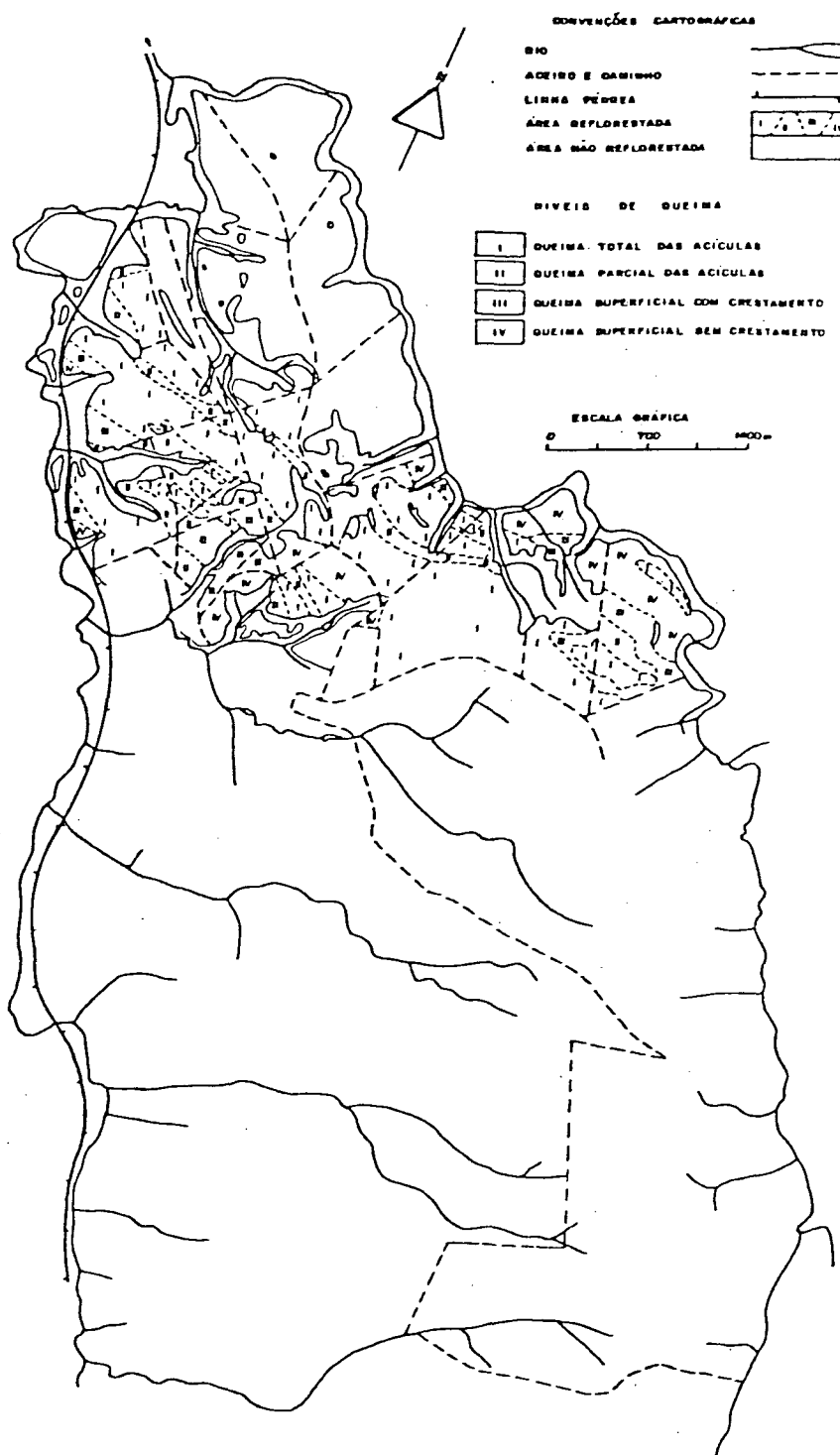


Figura 08. Mapa com a área atingida pelo 1º incêndio.

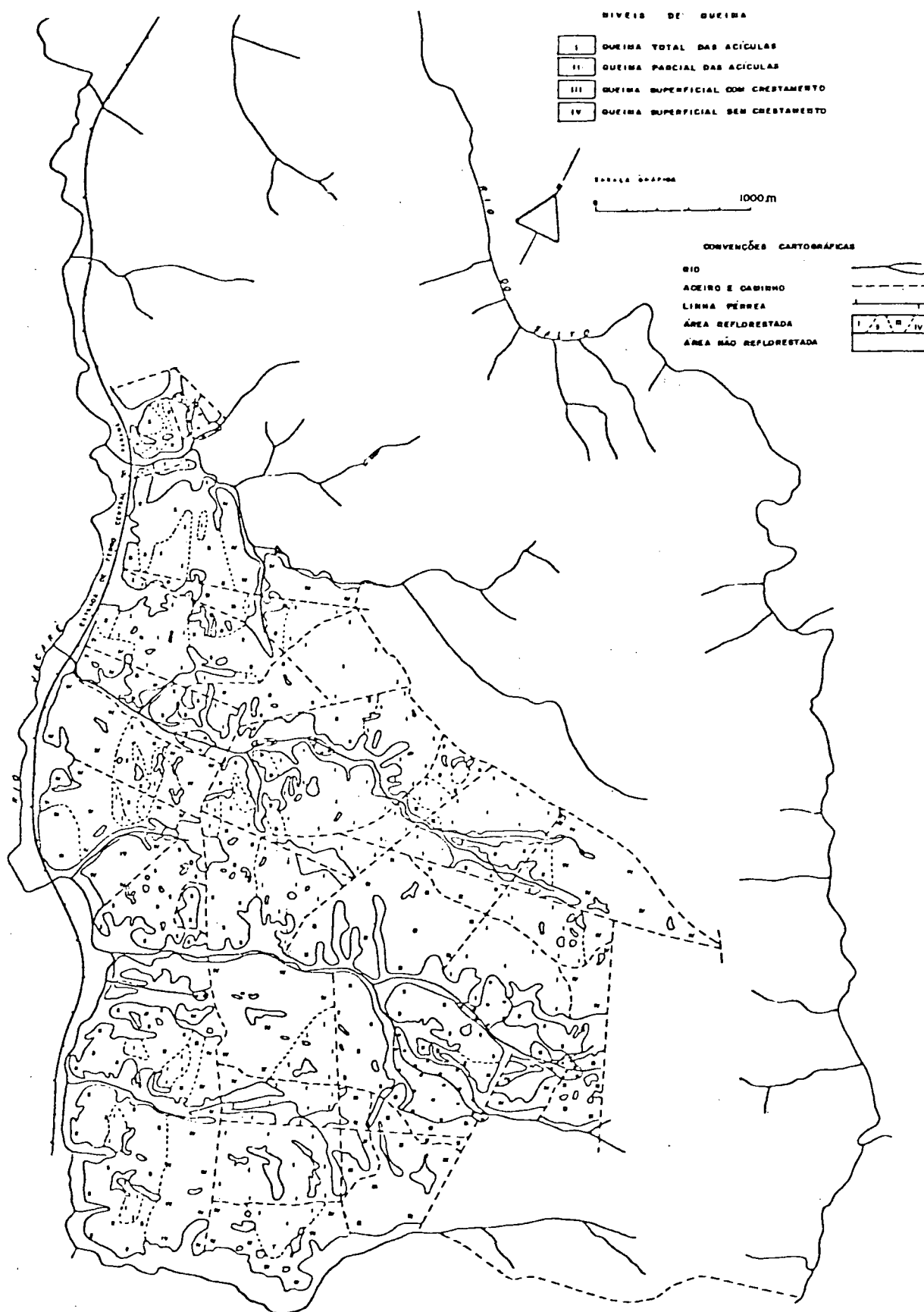


Figura 09. Mapa com a área atingida pelo 29 incêndio.

Quadro 5. Determinações de áreas queimadas, utilizando fotografias aéreas oblíquas, 1º incêndio.

Delimitações	Área (ha)	Porcentagem
Nível de queima I	277,45	41,29
Nível de queima II	80,05	11,91
Nível de queima III	66,17	9,85
Nível de queima IV	82,83	12,33
Não reflorestada	165,48	24,62
TOTAL	671,98	100

Quadro 6. Determinações de áreas queimadas, utilizando fotografias aéreas oblíquas, 2º incêndio.

Delimitações	Área (ha)	Porcentagem
Nível de queima I	336,21	24,65
Nível de queima II	266,09	19,51
Nível de queima III	201,82	14,80
Nível de queima IV	226,48	16,60
Não reflorestada	333,42	24,44
TOTAL	1364,02	100

fato da utilização de fotografias não estereoscópicas. Assume-se, baseado em CARNEIRO⁶, que as compensações positivas e negativas dos deslocamentos devido a transferência de informações da fotografia para o mapa, quando somadas forneceram um total que se aproxima do valor real da área.

Com base na presente pesquisa o uso de fotografias aéreas oblíquas 35 mm, pode ser uma variante do terceiro método denominado mapeamento aéreo expedito, para avaliar os danos causados por incêndios florestais, citados por BENSON¹.

Fotografias aéreas verticais 35 mm e 70 mm, frequentemente são utilizadas, conforme KLEIN¹⁷, BRADSHAW⁴ e BENSON², porém fotografias aéreas oblíquas em geral, não se tem conhecimento do seu uso para efeito de pesquisa florestal.

4.2. FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS

A área florestal atingida pelo primeiro incêndio foi explorada objetivando o aproveitamento da matéria-prima ali existente. A exploração foi iniciada aproximadamente oito meses após a ocorrência do incêndio. As áreas exploradas foram aquelas nas quais as árvores encontravam-se mortas ou sem a possibilidade de total recuperação; as áreas onde a queima foi de intensidade menor ou superficial e houve a recuperação das árvores, foram preservadas.

As áreas exploradas e remanescentes internas ao perímetro do fogo, apresentaram-se visivelmente distintas nas fotografias, além das outras áreas como afloramentos rocho-

chosos, matas nativas, campos, elementos fotográficos e infra-estrutura.

Os elementos de reconhecimento fotográfico que distinguiram as áreas exploradas das remanescentes foram a tonalidade e a textura.

A tonalidade fotográfica é a quantidade de luz refletida pelo objeto e registrada na fotografia em tons de cinza que variam do preto ao branco, em função da umidade do material superficial, fatores fotográficos e também fatores meteorológicos.

A textura é produzida pela reunião de unidades iguais ou similares que estão em uma mesma área ou em conjunto. Apresenta-se normalmente como grosseira, fina, uniforme, áspera ou aveludada.

As áreas remanescentes apresentaram tonalidade cinza escuro e textura fina uniforme e as áreas exploradas destacaram-se pela tonalidade cinza claro e textura áspera.

A transferência da interpretação fotográfica para o mapa base resultou no mapa em escala 1:10.000, contendo áreas exploradas e remanescentes, como se observa em forma reduzida na Figura 10. O resultado da medição destas áreas é apresentado no Quadro 07.

O mapa com os níveis de queima, Figura 08, quando comparado com o mapa contendo áreas exploradas e remanescentes, elaborado com fotografias aéreas verticais, Figura 10, mostra a seguinte correspondência: locais com níveis de queima I e II, correspondem aos locais explorados e locais com os níveis de queima III e IV, correspondem aos locais não explorados.

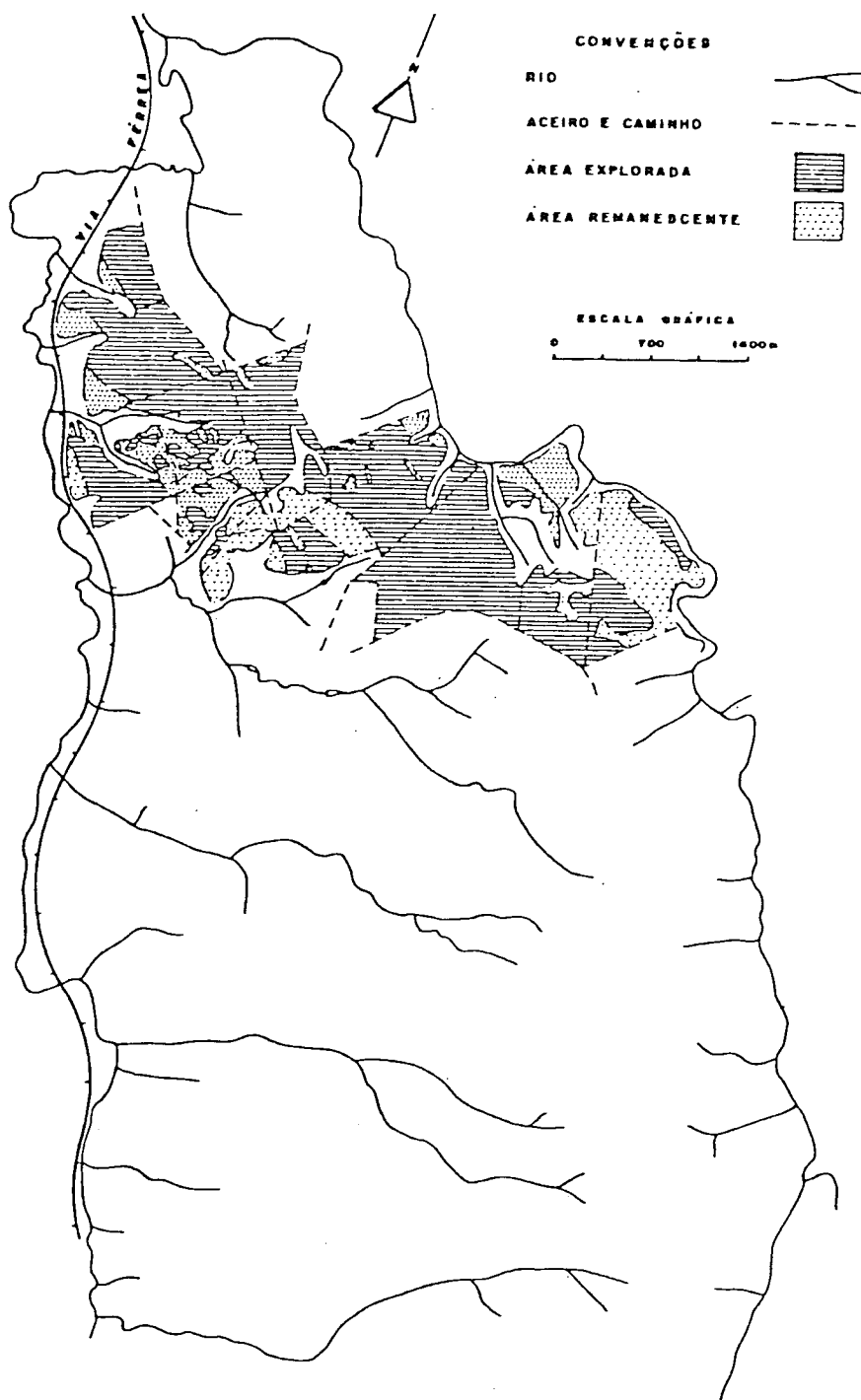


Figura 10. Mapa contendo áreas exploradas e remanescentes, após o 1º incêndio.

Quadro 07. Determinações de áreas utilizando fotografias aéreas verticais, 1º incêndio.

Delimitações	Área (ha)	Porcentagem
Explorada	345,77	51,46
Remanescente	160,73	23,92
Não reflorestada	165,48	24,62
TOTAL	671,98	100

Na avaliação quantitativa, Quadro 05, a soma das áreas relativas aos níveis de queima I e II, representam 53,20% da área total queimada e a soma das áreas com os níveis de queima III e IV, representam 22,18%. Comparando com os resultados referentes às áreas exploradas e remanescentes, que representam respectivamente 51,46% e 23,92%, Quadro 07, verifica-se 1,74% de diferença. Esta comparação mostra uma diferença mínima entre os níveis de queima mapeados com as áreas exploradas e remanescentes após o incêndio.

4.3 ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DO FOGO

Com a medição das alturas de queima nas amostras, cujos números são apresentados no Quadro 08, para cada nível de queima estabelecido, foram estimados os seguintes parâmetros do fogo: altura média de queima, intensidade média do fogo e altura média de crestamento.

Quadro 08. Número de unidade de amostra (n) em cada estrato

Nível	Nº preliminar	Nº necessário	Nº medido
I	6	9	10
II	6	7	8
III	6	8	10
IV	6	5	6

O conhecimento dos parâmetros estimados permite uma avaliação dos danos causados às árvores. Esses parâmetros relacionados com a área atingida em cada nível de queima possibilitam uma análise mais precisa sobre as consequências do incêndio em relação às árvores.

O Quadro 09 mostra os valores desses parâmetros para cada nível de queima.

Quadro 09. Parâmetros do fogo relacionados com os níveis de queima.

Parâmetros do fogo	Níveis de queima			
	I	II	III	IV
hq(m)	11,38	4,54	2,03	0,85
Pq(%)	100	40	18	7
I (kcal/m/seg)	12273,5	1664,9	289,4	43,6
h _c (m)	*	*	9,59	1,37
P _c (%)	>100	>100	84	12

sendo:

h_q = altura média de queima;

P_q = porcentagem de queima em relação à altura média das árvores;

I = intensidade média do fogo;

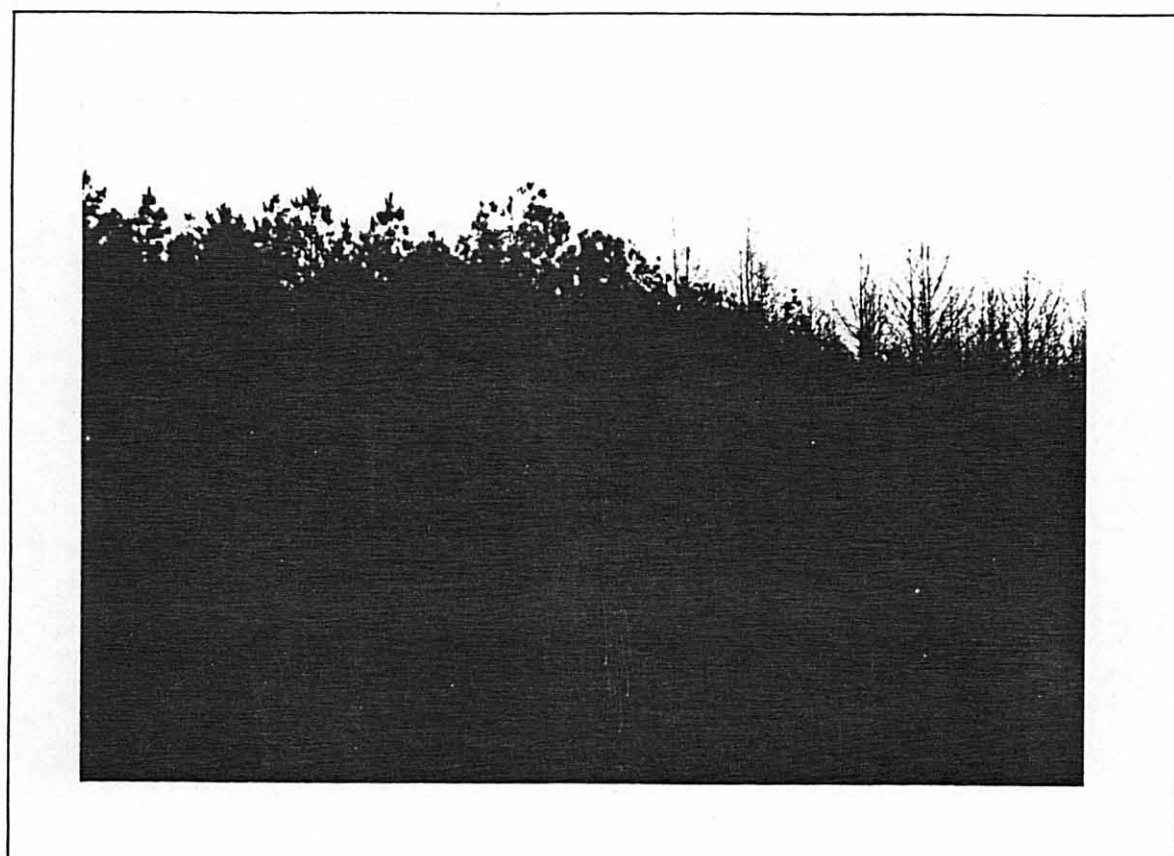
h_c = altura média de crestamento;

P_c = porcentagem de crestamento em relação a altura média das árvores.

* As alturas médias de crestamento relativas aos níveis de queima I e II, devido à alta intensidade do fogo, resultaram maior que a altura média total das árvores, sendo respectivamente: 166,11 e 40,75 metros.

Os quatro níveis de queima estabelecidos no presente trabalho são mostrados na Figura 11, onde da direita para a esquerda aparecem respectivamente os níveis de queima I, II, III e IV. A fotografia foi obtida seis meses após a ocorrência do incêndio.

Segundo SOARES²⁹, os incêndios florestais se classificam basicamente em três classes: incêndios de solo, superficial e de copa. Nos incêndios de solo o fogo propaga-se lentamente sem chamas, com intensidade destruidora uniforme. Os incêndios superficiais queimam o material combustível até cerca de 1,80 metros, já os incêndios de copa queimam também acima desta altura e a folhagem é totalmente destruída causando a morte das árvores. Esses três tipos básicos de incêndios ocorrem dependendo das condições gerais existentes, podendo ocorrer simultaneamente ou em diversas combinações possíveis.



— IV — — III — — II — — I —

NÍVEIS DE QUEIMA

Figura 11. Fotografia ilustrando os níveis de queima.

Analisando os dados obtidos no trabalho de campo, verifica-se em função da altura de queima, que os níveis I e II, classificam-se como incêndios de copa. Os níveis de queima III e IV classificam-se como incêndios superficiais, sendo o nível III de maior intensidade do que o IV, inclusive com crestamento das acículas.

Os dados do Quadro 09 mostram também a elevada intensidade do fogo nos níveis de queima I e II. O nível I com altura de queima atingindo a altura total das árvores e a altura de crestamento bem superior a altura das árvores. No nível II apesar da altura de queima de 40% em relação a altura total das árvores, a altura de crestamento ultrapassou a altura das árvores. Consequentemente nos dois níveis ocorreu mortalidade total das árvores, o que foi verificado no campo, seis meses após o incêndio.

No nível de queima III, a intensidade do fogo de 289,4 kcal/m/seg, causou pequenos danos, superáveis pelas árvores. Conforme afirmam BROWN & DAVIS⁵, fogo com intensidade de até 132 kcal/m/seg não causa danos em florestas de coníferas, já para florestas de eucaliptos McARTHUR²³ sugere a intensidade média de 83 kcal/m/seg, como o limite máximo que não causa danos às árvores. O tipo de floresta, idade das árvores, manejo da floresta e condições locais, podem ter contribuído para que a intensidade do nível de queima III fosse maior do que as apresentadas pelos dois autores mencionados, porém com danos mínimos às árvores.

Ainda em relação ao nível de queima III, o crestamento de copa de 84% também é um índice que indica ausência de mortalidade das árvores. Como constatado por DIETRICH³²,

florestas de coníferas resistem ao crestamento de até 90% de sua altura média total.

No nível de queima IV o fogo foi de baixa intensidade, 43 kcal/m/seg, altura relativa de queima de 7% e crestamento atingindo apenas 12% da altura da árvore, não atingindo as copas das árvores. Consequentemente neste nível não ocorreram danos letais às árvores. Baseado em SOARES²⁹, NOSTE & DAVIS²⁸ e outros, este tipo de fogo é benéfico às florestas de coníferas, inclusive aconselhado em queima controlada.

No primeiro incêndio, através de fotografias aéreas verticais, verificou-se que os locais com os níveis de queima I e II foram explorados devido à mortalidade total das árvores e os locais com os níveis III e IV correspondem às áreas remanescentes. A mesma consideração se aplica ao segundo incêndio, pelo observado em campo seis meses após a ocorrência do incêndio, ou seja, nos níveis de queima I e II, constatou-se mortalidade total das árvores, no nível III as árvores tiveram recuperação total e no nível IV não se verificou dano às árvores.

Portanto os resultados alcançados com o trabalho de campo e a metodologia utilizada na obtenção dos parâmetros do fogo, confirmam os trabalhos desenvolvidos por BROWN & DAVIS⁵ que determinaram a relação existente entre a altura das chamas e a intensidade do fogo e VAN WAGNER³¹ que estabeleceu a relação existente entre a intensidade do fogo e a altura de crestamento.

4.4 IMAGENS LANDSAT

O imageador MSS do Landsat capta a energia refletida por objetos da superfície da terra, simultaneamente em quatro intervalos diferentes de comprimento de onda, na região do verde, do vermelho e duas no infravermelho, correspondendo respectivamente aos canais 4, 5, 6 e 7, os quais compõem uma cena. Nas imagens, cada tonalidade variando do branco ao preto, indica uma quantidade diferente de reflexão da luz. A baixa absorção da luz pelo objeto é indicada na imagem pelo branco caracterizando objetos com alta reflectância e a alta absorção é indicada pelo preto, caracterizando objetos com baixa reflectância.

Objetivando analisar a área em estudo através da ampliação fotográfica, tentou-se ampliar o negativo dos canais 5 e 7 da imagem Landsat, escala 1:3.704.000 para a escala 1:500.000. Porém a imagem ampliada não forneceu qualidades visuais para distinção entre os objetos nela apresentados.

Através do aparelho "Fairey Color Additive Viewer", em composição colorida resultante na escala 1:1.000.000, possibilitou apenas a análise preliminar da região de reflorestamento. Devido à área em estudo apresentar uma superfície pequena, aproximadamente 3.000 ha, a escala 1:1.000.000 não foi adequada para análise da área queimada.

No processamento digital havia a possibilidade de proceder o alongamento de contrastes na imagem da área em estudo e classificação automática. Neste trabalho, procedeu-se apenas o alongamento de contrastes. A classificação automática, ficou adiada para outra ocasião, devido à necessidade de

melhor reconhecimento em campo, para conhecer com maior profundidade os padrões típicos existentes na região, tais como: topografia, cobertura vegetal e uso do solo.

4.4.1 Interpretação visual

Com a finalidade de analisar cada banda individualmente, são apresentados e comentados os resultados obtidos na interpretação visual dos diapositivos dos canais 5 e 7, bem como os resultados das composições coloridas interpretadas, em escala 1:35.000. A aplicação do alongamento de contrastes nas cenas fotografadas no I-100, se procedeu por fornecer melhores qualidades visuais do que sem esta aplicação, confirmando BEST et al.³ que comentam que o alongamento de contrastes melhora a qualidade da imagem, possibilitando melhor distinção entre os objetos através da distribuição de tonalidades em classes compactas.

A interpretação do diapositivo do canal 7, canal na região do infravermelho próximo; Figura 12, caracterizou que as áreas queimadas possuem uma alta absorção na faixa do espectro do infravermelho. Na interpretação foi possível delimitar a área queimada em dois tons de cinza. Tonalidades pretas ou bastante escuras foram consideradas áreas queimadas com alta intensidade, classificado como nível de queima A. Os locais que apresentaram tonalidade cinza foram considerados como áreas queimadas com intensidade menor, classificado como nível de queima B, como apresentado na Figura 13.

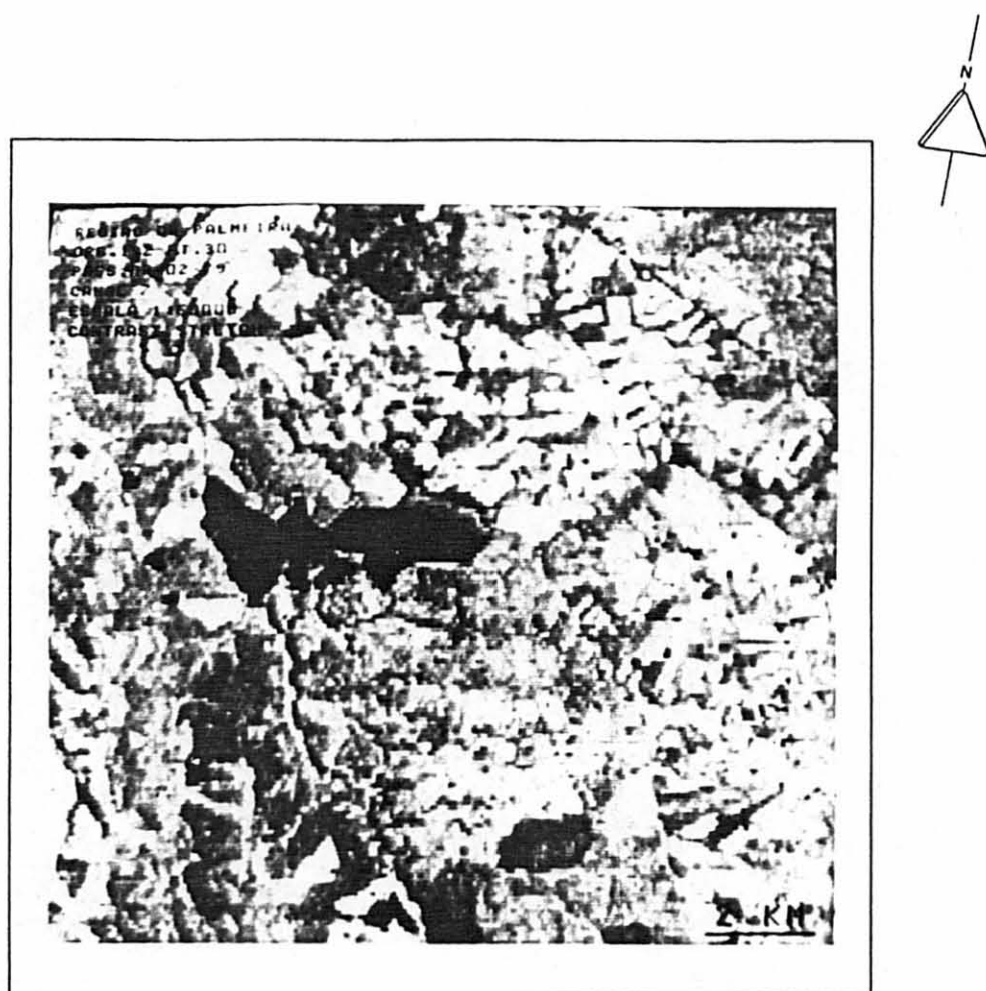


Figura 12. Área estudada como vista no canal 7.

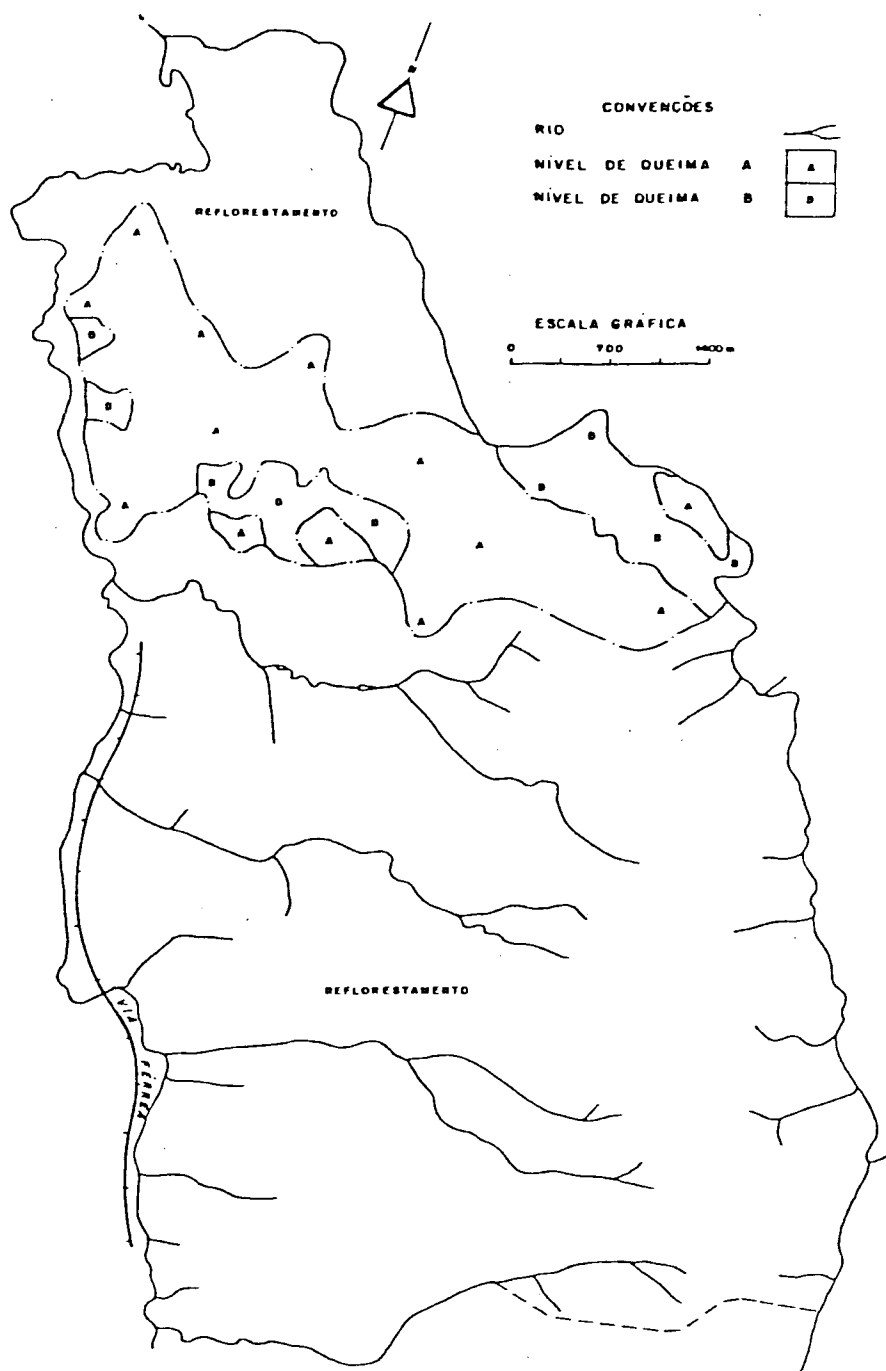


Figura 13. Mapa resultante da interpretação do diapositivo do canal 7.

A interpretação do diapositivo do canal 5, não possibilitou distinção nítida entre as áreas reflorestadas queimadas e não queimadas. Porém áreas florestais diferenciaram das não florestais, como se observa na Figura 14. A não distinção de áreas queimadas e áreas não queimadas, se explica pela alta absorção, da radiação do espectro de comprimento de onda 0,5 a 0,6 micrometros, tanto pelas áreas queimadas como pelas áreas reflorestadas não queimadas, já como visto anteriormente no canal 7 a alta absorção ocorreu apenas onde houve presença de queima. Portanto a utilização do canal 5 não foi adequada para caracterizar visualmente as áreas queimadas, consequentemente os resultados da interpretação e áreas não são apresentados.

Dois diapositivos, em composição colorida que melhor destacaram a área queimada, foram interpretados visualmente. O primeiro foi o diapositivo da composição colorida, originário da combinação do canal 5 no filtro vermelho, o canal 7 no filtro verde e o canal 4 no azul, denominada colorido normal com alongamento de contrastes, Figura 15, tendo sido aplicado o programa alongamento dos contrastes. A interpretação desse diapositivo foi realizada baseando-se na diferenciação de coloração e possibilitou a delimitação da área queimada em duas tonalidades de cores, sendo classificados como nível de queima A e nível de queima B.

O nível de queima A apresentou coloração marrom escuro, caracterizando áreas queimadas em alta intensidade e o nível de queima B apresentou coloração marrom claro, devido a queima com intensidade menor. A Figura 16 apresenta a delimitação dessas áreas. A área reflorestada não atingida

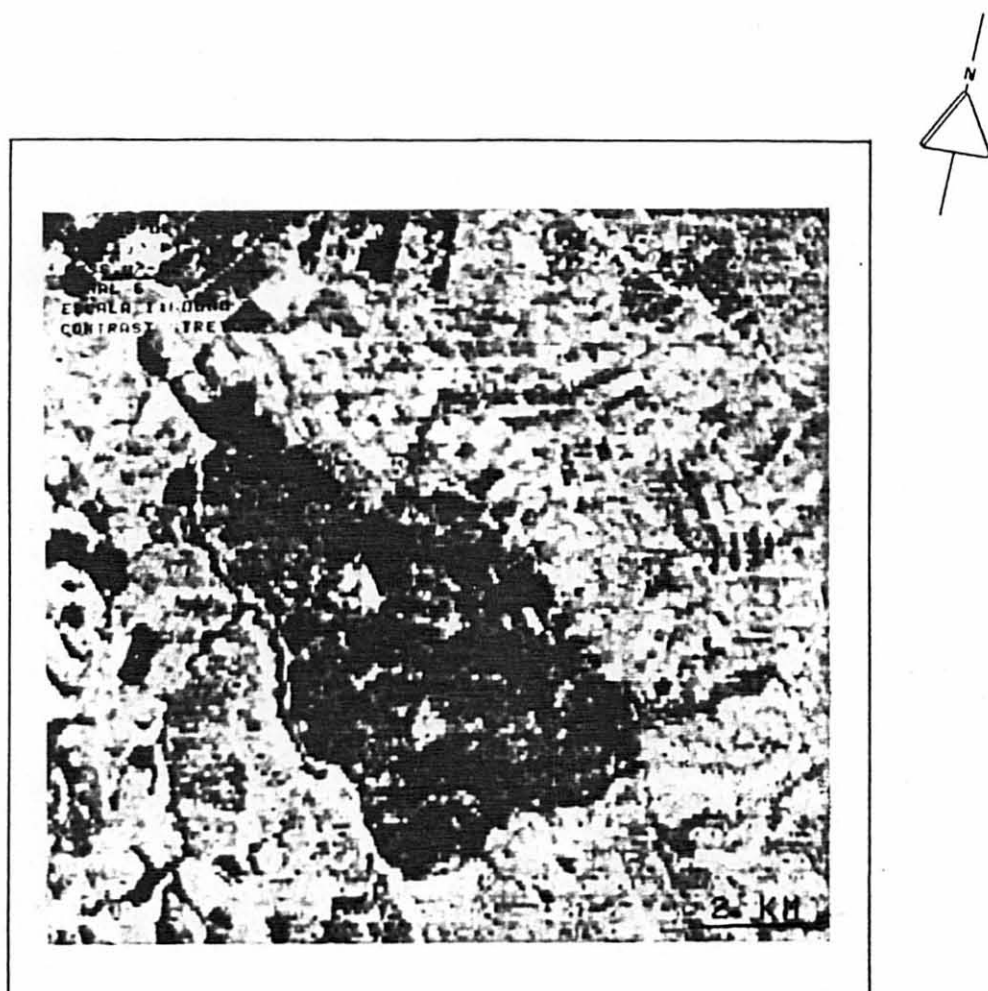


Figura 14. Área estudada como vista no canal 5.

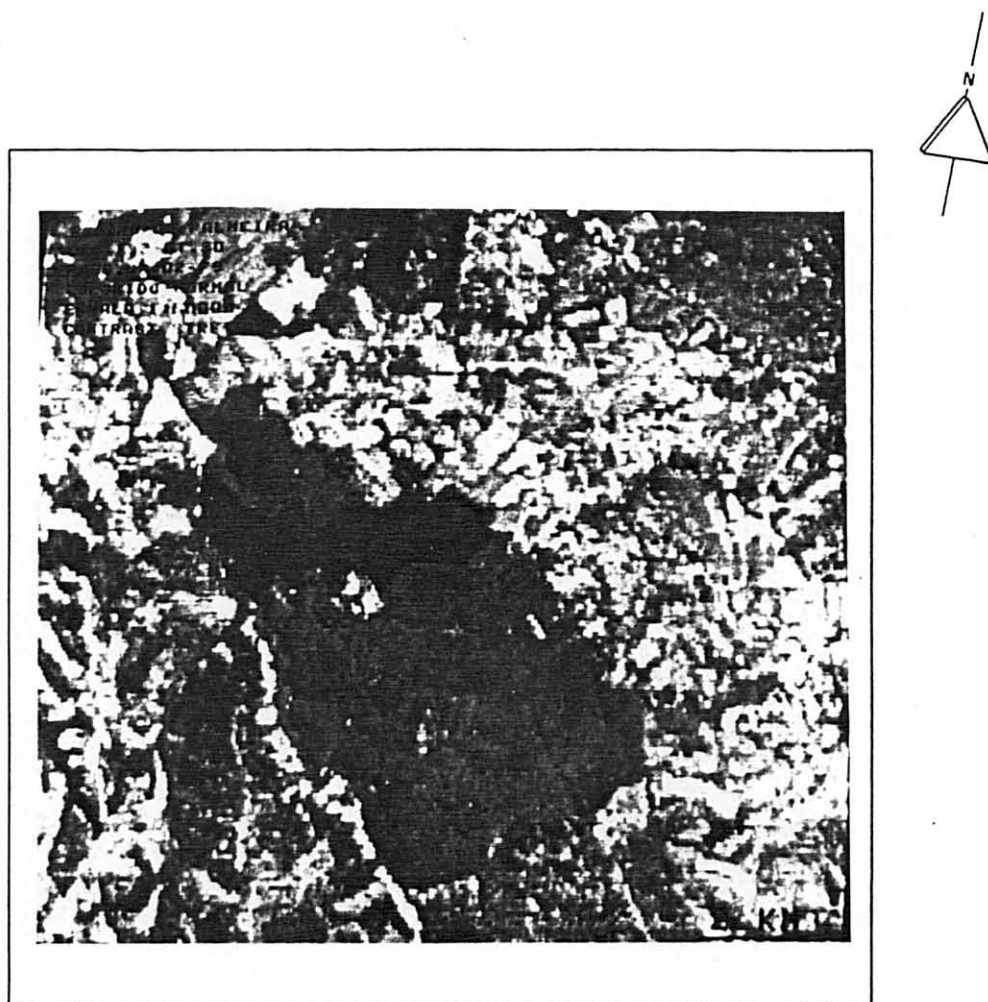


Figura 15. Diapositivo em composição colorido normal.

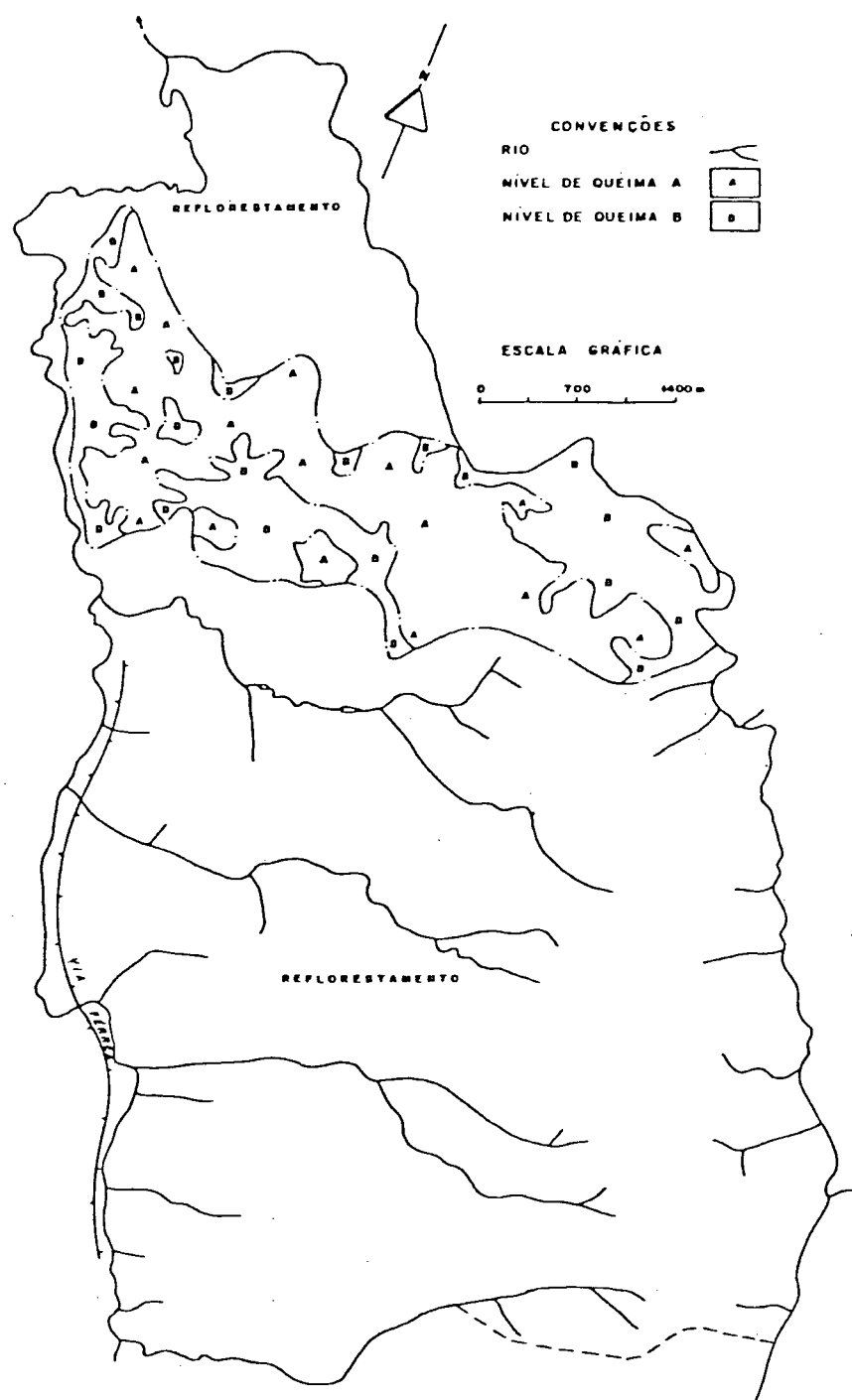


Figura 16. Mapa resultante da interpretação do diapositivo em composição colorido normal.

pelo fogo apresentou coloração verde claro com pequenas manchas em tons claros, as quais representavam as áreas não reflorestadas, isto é, rochas, áreas de preservação e solo exposto.

O segundo diapositivo em composição colorida interpretado, foi o resultante da combinação do canal 7 com o filtro vermelho, o canal 5 com o filtro verde e o canal 4 com o azul, tendo sido também aplicado o alongamento de contrastes; a composição é denominada falsa cor com alongamento de contrastes, Figura 17. Na interpretação da área queimada foram delimitados os níveis de queima A e B.

O nível de queima A apresentou coloração preta azulada escura e o nível de queima B, apresentou coloração preta azulada clara. O nível de queima A caracterizou queima com alta intensidade e o nível B intensidade menor, como apresentado na Figura 18. A área reflorestada apresentou coloração vermelha com manchas em colorações claras, representando áreas não reflorestadas.

Analizando-se os três mapas elaborados com a utilização de imagens Landsat, observa-se que os dois mapas elaborados com composições coloridas, são semelhantes em relação as delimitações dos níveis de queima, ou seja, o mapa obtido com o diapositivo colorido normal é semelhante ao obtido com o diapositivo falsa cor. Porém o mapa obtido com o diapositivo do canal 7, apresenta a delimitação do nível de queima A em maior proporção que os dois mapas citados anteriormente.

Com o objetivo de verificar a confiabilidade dos mapas elaborados com imagens Landsar através da análise quali-

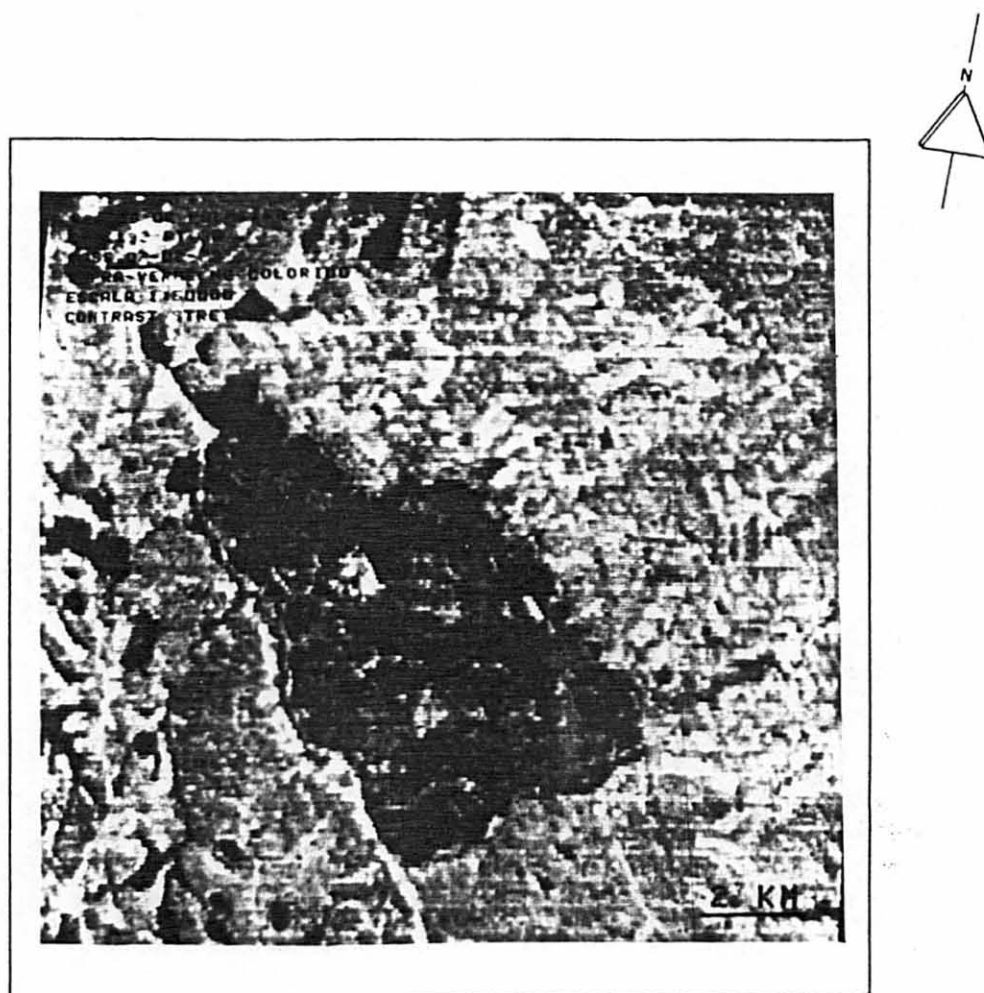


Figura 17. Diapositivo em composição falsa cor.

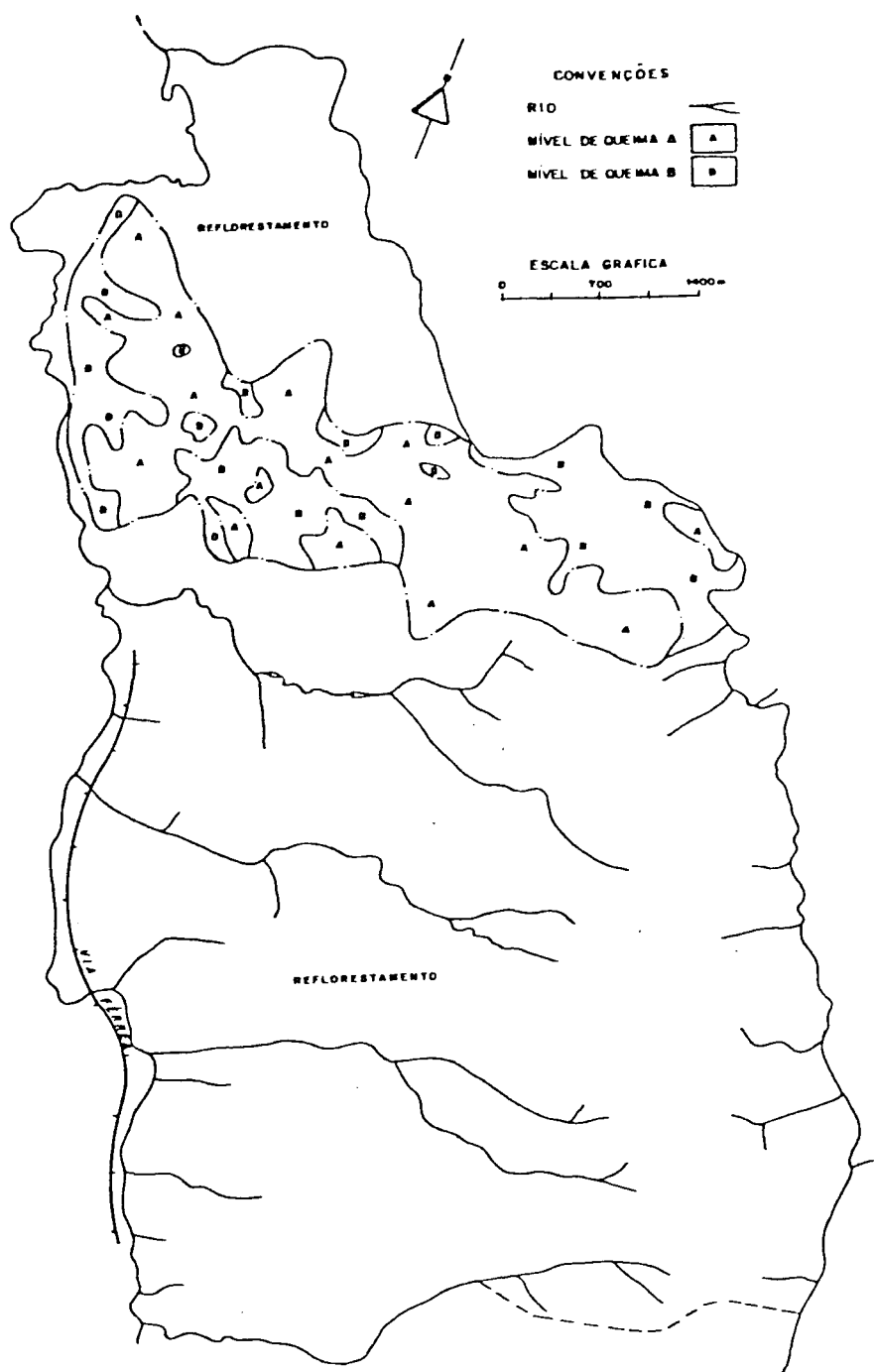


Figura 18. Mapa resultante da interpretação do diapositivo em composição falsa cor.

tativa, estes foram sobrepostos com o mapa obtido através de fotografias aéreas verticais, contendo áreas exploradas e remanescentes após o incêndio e também as áreas não reflorestadas, internas ao perímetro da área queimada. Como já citado anteriormente, as áreas exploradas correspondem àquelas onde a intensidade do fogo foi bastante elevada, causando a mortalidade das árvores, correspondendo aos níveis de queima I e II nas fotografias aéreas oblíquas, as áreas remanescentes correspondem aos locais onde o fogo foi de intensidade menor e as árvores tiveram recuperação, correspondendo nas fotografias oblíquas aos níveis III e IV, já as áreas não reflorestadas correspondem às margens de rios, campos com gramíneas e afloramentos rochosos. Nesta verificação observou-se que a delimitação do perímetro total da área queimada teve boa equivalência para os três mapas elaborados com imagens Landsat.

Com relação às delimitações dos níveis de queima A e B, observou-se que nos dois mapas obtidos com o diapositivo colorido normal e falsa cor, os locais com o nível de queima A correspondem aproximadamente aos locais explorados e os locais com o nível de queima B correspondem aos locais com florestas remanescentes e aos locais não reflorestados também queimados compostos principalmente por gramínea e capoeira. Portanto nas áreas queimadas com intensidade menor, classificadas como nível de queima B, estão incluídas as áreas não reflorestadas, pelo fato de apresentarem visualmente a mesma reflectância espectral. Provavelmente devido à dimensão destas áreas não reflorestadas serem pequenas, como no caso de preservação nas margens de rios que representa uma faixa com largura média de 30 metros, como também as áreas representadas por solo exposto serem de pequenas dimensões.

Em relação ao mapa obtido com o diapositivo do canal 7, os níveis de queima A e B não tiveram boa equivalência com as áreas exploradas e remanescentes respectivamente, como no caso dos dois mapas obtidos através de composição colorida.

4.4.2 Avaliação quantitativa

Através da avaliação quantitativa da interpretação sobre cada mapa elaborado, utilizando respectivamente o diapositivo do canal 7, o colorido normal e o falsa cor, foram determinadas as áreas apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10. Determinação de áreas (em hectares), utilizando imagens Landsat.

Material utilizado	Níveis de queima		Área Total
	A	B	
canal 7	522,32	151,23	673,55
colorido normal	366,13	320,51	686,64
falsa cor	371,34	308,41	679,75

A área total queimada apresentou pequena diferença em relação à obtida com fotografia aérea vertical que foi de 671,98 ha. As diferenças relativas a utilização do canal 7, composição em colorido normal e falsa cor, foram respectivamente: 0,23%, 2,18% e 1,15%.

Os resultados dessa pesquisa comprovam a alta efici-

ência na utilização de imagens de satélite para mapear e determinar a área total queimada em reflorestamentos. Os resultados obtidos foram mais exatos do que os obtidos por WINQUIST & JACKSON³² que observaram diferenças de 4% e CHEN et al.⁷ que obtiveram precisão de 83,10%. Já AOKI & SANTOS¹ utilizando os canais 5 e 7 independentes, obtiveram melhores resultados utilizando o canal 7, em região de cerrado, porém não fornecem dados numéricos.

Considerando cada nível de queima independente, ou seja, quando comparado o nível de queima A com áreas exploradas e o nível de queima B com a soma das áreas remanescentes e não reflorestadas, já que estas equivaleram-se nas delimitações dos mapas, obteve-se as diferenças apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11. Diferenças obtidas no mapeamento dos níveis de queima, utilizando imagens de satélite.

Material utilizado	Níveis de queima	Diferenças (%)
Canal 7	A	+ 51,65
	B	- 53,65
Colorido normal	A	+ 5,88
	B	- 1,75
Falsa cor	A	+ 7,39
	B	- 5,46

Como já comentado no item anterior, o mapa elaborado com a utilização do diapositivo do canal 7, não apresentou boa equivalência nas delimitações dos níveis de queima. Na avaliação quantitativa verificou-se superestimativa de 51,65%

no nível A e subestimativa de 53,65% no nível B. Um possível motivo dessa diferença, e possivelmente também ao insucesso na utilização da banda 5, atribui-se ao fato de não proceder uma análise para se obter os parâmetros ao efetuar o alongamento de contrastes. Procedeu-se a aplicação do contraste pela experiência própria do operador do I-100. DISPERATI¹¹ ao mapear áreas de *Araucaria*, comenta a real necessidade de se determinar os parâmetros limitantes na ocasião da aplicação do alongamento de contrastes.

Os mapas elaborados, com diapositivo em composição colorida, apresentaram boa estimativa em relação aos níveis de queima A e B. Apesar da diferença mínima entre os dois mapas, verifica-se uma ligeira vantagem do colorido normal em relação ao falsa cor, como mostra o Quadro 11.

5 CONCLUSÕES

i) A utilização de fotografias aéreas oblíquas 35 mm, possibilitou o mapeamento de quatro níveis de queima. No estabelecimento dos níveis de queima o elemento fotográfico que mais teve influência foi a coloração.

ii) Os níveis de queima mapeados, quando comparados com as áreas exploradas e remanescentes apresentaram diferenças menores que 2%, sendo que os níveis I e II corresponderam aos locais explorados e os níveis III e IV aos locais remanescentes.

iii) Fotografias aéreas oblíquas 35 mm, obtidas com câmaras não métricas e aeronaves de pequeno porte, podem ser utilizadas para mapear áreas queimadas em níveis de queima, desde que se tenha o mapa base.

iv) O uso de fotografias aéreas oblíquas 35 mm, quando comparado com o método de mapeamento aéreo expedito, oferece a vantagem da análise mais precisa sobre a área, sem maiores conhecimentos sobre a região.

v) A altura média de queima, obtida a partir das medidas das alturas de queima nas amostras, possibilitou a estimativa da intensidade do fogo e a altura de crestamento. Estas estimativas, quando comparadas com os resultados obtidos por outros autores foram satisfatórias.

vi) O conhecimento da altura média de queima, intensidade do fogo e altura de crestamento, possibilitou avaliar os danos causados pelo fogo às árvores.

vii) Devido a alta absorção da radiação infravermelho pelas áreas queimadas, a imagem MSS da banda 7 apresentou estas áreas em tonalidade tendendo para o preto. Tanto quanto no canal 5 houve alta absorção também da radiação amarela, ou de comprimento de onda 0,5 à 0,6 micrometros, pelas áreas queimadas como pelas áreas reflorestadas não afetadas pelo fogo. Portanto a análise individual da imagem relativa ao canal 5, não apresentou diferença de contraste suficiente entre áreas queimadas e áreas reflorestadas não queimadas.

viii) Utilizando-se imagens de satélite, a delimitação da área total queimada, quando comparada com o resultado obtido por fotografias aéreas verticais, apresentou as seguintes diferenças no mapeamento:

- canal 7: 0,23%
- colorido normal: 2,18%
- falsa cor: 1,15%

ix) No mapeamento dos níveis de queima, as composições colorido normal e falsa cor, forneceram melhores resultados que a utilização do canal 7 individual.

x) A presente pesquisa demonstra o valor da utilização de fotografias aéreas oblíquas 35 mm e imagens Landsat, estas quando processadas digitalmente através do uso de CCT, para o mapeamento de áreas queimadas em reflorestamento de *Pinus*. A extensão das áreas queimadas nos dois incêndios estudados foram 672 e 1.364 hectares.

O presente estudo foi realizado em uma área de aproximadamente 3.000 ha, reflorestada com *Pinus taeda*, com idade média de 8 anos, em propriedade da empresa SLAVIEIRO FLORESTAL S.A., localizada no município de Palmeira, Estado do Paraná. O principal objetivo foi avaliar os danos causados por dois incêndios florestais ocorridos em épocas diferentes, utilizando fotografias aéreas com complementação de trabalho de campo e imagens Landsat 3.

Através da interpretação visual de fotografias aéreas oblíquas foram definidos quatro níveis de queima, sendo:

- I - queima total das acículas, locais onde ocorreu incêndio com intensidade muito alta;
- II - queima parcial das acículas, locais onde ocorreu incêndio com intensidade alta;
- III - queima superficial de alta intensidade, com crestamento das acículas;
- IV - queima superficial sem crestamento das acículas.

Através da realização do trabalho de campo, foram estimados os seguintes parâmetros do fogo: altura média de queima, intensidade média de queima e altura média de crestamento para cada nível de queima mapeado. Os resultados obtidos confirmaram a relação existente entre esses parâmetros do fogo.

Após determinação quantitativa, das áreas queimadas referentes aos níveis de queima, os resultados foram comparados com aqueles obtidos através de fotografias aéreas verticais, onde foram determinadas as áreas exploradas devido a não recuperação das árvores e áreas remanescentes após o incêndio. Na comparação verificou-se uma boa relação dos níveis de queima mapeados utilizando fotografias aéreas oblíquas com as áreas que foram exploradas e as remanescentes.

Os dados da cena Landsat 3, referentes a área de estudo, armazenados em fita compatível a computador, foram processados no sistema I-100 no INPE. Também foi aplicada nos dados a técnica de alongamento de contrastes. Diversas imagens no vídeo do sistema I-100 foram fotografados em forma de diapositivos.

Os diapositivos dos canais 5 e 7 e composições coloridas foram analisados e interpretados; obteve-se melhores resultados no diapositivo do canal 7 e na composição normal e falsa cor.

Os níveis de queima mapeados utilizando os diapositivos foram:

- A - áreas queimadas em alta intensidade;
- B - áreas queimadas em intensidade menor.

A delimitação da área total queimada, utilizando o canal 7 e duas composições coloridas, quando comparada com o resultado obtido por fotografias aéreas verticais apresentou boa precisão. No mapeamento dos níveis de queima, apenas os diapositivos em composição colorida normal e falsa cor, apresentaram boa equivalência quando comparados com o resultado da fotografia aérea vertical. Os erros quantificados em área

com o diapositivo em composição colorida foram de +5,88% e -1,75% respectivamente para os níveis de queima A e B; enquanto que com a falsa cor os erros foram de +7,39% e -5,46%.

SUMMARY

This study deals with the evaluation of the forest damage in a 3000 ha of reforestation area with *Pinus taeda*, due two forest fires occurred in two different dates. For the analysis of the first fire were used vertical and oblique aerial photographs and Landsat imagery, while for the second forest fire only oblique aerial photographs and field work. The area of study belongs to the private company SLAVIERO FLORESTAL and is located in district of Palmeira, Paraná State.

The following four damage levels of burnt were defined through the visual interpretation of 35 mm oblique aerial photographs:

- I: total needle consumption, places where had forest fire with very high intensity;
- II: partial needle consumption, places where had forest fire with high intensity;
- III: high intensity surface burning, with scorch needle;
- IV: surface burning without scorch needle.

With the data collected from the field work, the following parameters of the forest fire were estimated: medium burning height, medium burning intensity and medium scorch height. The obtained results showed to be valid the relationship between those three parameters of the fire.

The vertical aerial photographs (acquired 18 months after the fire) were used for mapping and to determine the areas that had timber exploitation due the mortality of the trees and the areas burnt but that were not exploited. These results had close relation when compared with those from oblique aerial photographs. The damage levels I and II compared very well with the exploited areas and damage levels III and IV with not exploited areas.

The data from Landsat imagery, available in computer compatible tape, were processed in the GE 1100 at INPE. For the data were applied only the contrast stretch technique. Several images were photographed with 35 mm colour slides from the TV display of GE 1100.

The image of band 5 and 7 and colour composite were analysed through visual interpretation; the best results were acquired with the image of band 7 and "normal colour" and "false-colour" colour composite.

The following two different damage levels were mapped from the Landsat images:

A: burnt areas with high intensity.

B: burnt areas.

As for the determination of the total burnt area is concerned, the results from the Landsat images (ie, band 7 and colour composites) were very closed to that from vertical aerial photographs. For the mapping of damage levels only had close relation with that from colour composites. Using the normal colour composite the quantitative errors in area were 5,88% and -1,75% respectively for the damage levels A and B, while using the false-colour the errors were found to be +7,39% and -5,46%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AOKI, H. & SANTOS, J.R. Monitoramento do Parque Nacional de Brasília através de dados arbitrais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, 1978. Anais. São José dos Campos, INPE, 1978. p. 118-134.
2. BENSON, M.L. Mapping the extent and intensity of major forest fires in Australia using digital analysis of Landsat imagery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING AND INVENTORY OF EARTH RESOURCES AND THE ENDANGERED ENVIRONMENT, 1978. Proceedings. Freiburg, 1980. p. 1965-1980.
3. BEST, R.G. & SMITH, J.R. Photographic contrast enhancement of Landsat imagery. Phot. Eng. Rem. Sens., 44(8): 1023-26, 1978.
4. BRADSHAW, F.F. Color infra-red aerial photography for evaluating results of controlled burning in Western Australia. Aust. For. Res., 5(2): 11-4, 1971.
5. BROWN, A.A. & DAVIS, K.P. Forest fire control and use. New York, McGraw-Hill, 1973. 685 p.
6. CARNEIRO, C.M.R. Curso básico de sensoriamento remoto. Brasília, PNUD/FAO/IBDF, 1980. 198 p. (Série técnica, n. 6)
7. CHEN, S.C.; SHIMABUKURO, Y.E. & HERNANDES, P.F. The mapping of burned area in forest by image-100 system. São José dos Campos, INPE, 1979. 9 p.
8. COLWELL, R.N. et al. Uses of aerial photographs in forest protection. J.For., 49(9): 630-33, 1951.
9. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Brasil). Carta geológica do Brasil ao milionésimo - folha Curitiba (SG-22). Brasília, 1974. 82 p.
10. DIETRICH, J.H. Recovery potential of fire damaged Southwestern ponderosa. California, USDA, For. Serv. Research, 1979. 8 p.

11. DISPERATTI, A.A. The mapping of stands of Parana Pine (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) in the forest of South-West Parana State (Brasil) using computer aided analysis of Landsat MSS data. Londres, 1981. 250 p. Tese. Doutorado. Universidade de Londres.
12. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Levantamento de reconhecimento dos solos do sudoeste do Estado do Paraná. Curitiba, 1974. 150 p.
13. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná. Londrina, 1978. 41 p.
14. GANTZEL, O.L. Avaliação das florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. do Sul do Brasil, através de imagens do satélite Landsat-II. Curitiba, 1979. 96 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
15. HIGA, N.T. & SOUZA, C.C. Avaliação de áreas queimadas utilizando imagens multiespectrais do Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, 1978. Anais., São José dos Campos, INPE, 1978. p. 253-4.
16. HITCHCOCK, H.C. & HOFFER, R.M. Mapping a recent forest fire with ERTS-1 MSS data. In: REMOTE SENSING OF EARTH RESOURCES, 3., University of Tennessee, 1974. Proceedings. p. 449-61.
17. KLEIN, W.H. Mini-aerial photography. J.For., 68: 475-78, 1970.
18. LACHOWSKI, H.M. & ANDERSON, S.H. Assessment of fire damage within survey wildlife refuge from aerial photography and Landsat imagery. In: WORKSHOP ON COLOR AERIAL PHOTOGRAPHY IN THE PLANT SCIENCES, 7., Davis, 1979. Color aerial photography in the plant sciences and related fields. s.l., University of California, 1979. p. 221-227.
19. LAUER, D.T. Multiband photography in purposes. In: Application of Remote Sensors in forestry, Joint Report by Working Group "Application of Remote Sensors in Forestry". IUFRO, Section 25, 1971. p. 21-36.
20. LEE, Y.J. Computer - assisted forest land classification by means of several classification methods on the CCRS image-100. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 3., Alberta, 1975. p. 37.42.
21. LOOMIS, R.M. Estimating fire caused mortality and injury in oak-hickory forests. North Cent. For.Exp. Pap., U.S.Dep.Agric., For.Ser.Res., 1973. 6p.

22. MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, CODEPAR, 1968. 350 p.
23. McARTHUR, A.G. Fire behavior in eucalypt forest. Canberra, Department of Development, Forestry and Timber Bureau, 1967. 36 p.
24. _____. The influence of fire on the productivity of hardwood forests in Australia. Aust.For.Res., 3(1): 23-35, 1967.
25. MYERS, B.J. Mapping the area burnt in prescribed burning operations using large-scale colour aerial photographs. Aust. For., 41(1): 19-28, 1978.
26. NELSON, R.M. Observations on heat tolerance of Southern Pine needles. North Carolina, USDA, For.Serv.Res., 1952. 6 p.
27. NOSTE, N.V. & DAVIS, J.B. A critical look at fire damage appraisal. Can.J.For., 73(11): 10-15, 1975.
28. RIETVELD, W.J. Cone maturation in ponderosa pine foliage scorched by wildfire. Forst Collins, USDA, For. Serv. Res., 1976. 7 p.
29. SOARES, R.V. Prevenção e controle de incêndios florestais. Curitiba, FÚPEF, 1976. 72 p.
30. _____. Uma proposta para solucionar o problema. Sinal Verde, Brasília, junho-julho, 1982. p. 6. (Publicação oficial do IBDF)
31. VAN WAGNER, C.E. Height of crown scorch in forest fire. Can. J.For., 3(3): 373-378, 1973.
32. WINQUIST, E. & JACKSON, C. The monitoring of timber harvesting and forest fires in Alberta. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 3., Alberta, 1975. p. 273-280.